

## 明 細 書

グリース、転がり軸受、等速ジョイントおよび転動部品

技術分野

[0001] 本発明は、高荷重下における潤滑性および耐荷重性に優れるグリースと、このグリースを封入した転がり軸受および等速ジョイントと、航空機、鉄道車両、建設機械、自動車電装補機、自動車ハブなどに使用される転動部品とに関する。

転がり軸受は、車輪用転がり軸受、または車輪支持用転がり軸受ユニットに用いられる転がり軸受に関する。車輪用転がり軸受は、鉄道車両の車軸用軸受、主電動機用軸受に用いられる鉄道車両用転がり軸受、自動車の懸架装置に対して車輪を回転自在に指示するための車輪支持装置用転がり軸受、および圧延機ロールネック用転がり軸受に関する。

等速ジョイントは、自動車に用いられるプランジング型等速ジョイントまたは固定型等速ボールジョイント用グリースおよびこれらグリースを封入した等速ジョイントに関する。

背景技術

[0002] 従来、グリース封入転がり軸受を高荷重条件下で使用する場合には、潤滑グリースの潤滑膜が破断しやすくなる。潤滑膜が破断すると金属接触が起こり、発熱、摩擦摩耗が増大する不具合が発生する。そのため、極圧剤(EP剤)含有グリースを使用して、その不具合を軽減している。

転がり軸受の使用条件が過酷になるにつれ、グリースにおいては、潤滑性および高荷重性を向上させ、潤滑油膜破断による金属接触を防止する必要がある。特に、ころ軸受はつばを有し、つば部で転動体と軌道輪つばがすべり運動するため、つば部で潤滑油膜の破断が起こりやすくなる。

メラミン(イソ)シアヌル酸付加物 100 重量部に対して、ポリテトラフルオロエチレン、二硫化モリブデンおよびモリブデンジチオカーバメート(以下、MoDTCと略称する。)よりなる群から選ばれる固体潤滑剤を 5〜1000 重量部の割合で併用した固体潤滑剤含有グリースが知られている(特許文献1)。また、有機ビスマス化合物を含んでな

る、転がり軸受用の極圧グリース潤滑剤組成物が知られている(特許文献2)。また、摩耗低減を目的としたMoDTCおよびポリサルファイドを含有してなるグリースが知られている(特許文献3)。

[0003] 鉄道車両用軸受は、車軸用軸受、主電動機用軸受に大別される。車軸用軸受については、車軸の両端部が車両台枠に取付けられた円すいころ軸受により支持され、主電動機用軸受は、電動機回転軸の出力側の両端部が車両台枠に取付けられた円筒ころ軸受または玉軸受により支持されている。

[0004] 後輪駆動型車両における前輪の如き非駆動輪を支持する車輪支持装置においては、ステアリングナックルに設けられたアクスル(ナックルスピンドル)上に2個の転がり軸受を取付け、その転がり軸受によって回転自在に支持されたアクスルハブの外径面にフランジを設け、このフランジに設けられたスタッドボルトと、これにねじ係合されるナットによってブレーキ装置のブレーキドラムおよび車輪のホイールディスクを取付けるようにしている。

また、ステアリングナックルに設けられたフランジにバックプレートを取付け、そのバックプレートによってブレーキドラムに制動力を付与する制動機構を支持するようにしている。

上記のような車輪支持装置においては、アクスルハブを回転自在に支持する転がり軸受として、負荷容量の大きい剛性の高い円すいころ軸受が用いられる。この円すいころ軸受は、アクスルとアクスルハブ間に充填されたグリースによって潤滑される。

[0005] 従来、高速下で、高荷重のかかる鉄道車両用軸受および車輪支持装置の例として、ニッケル、テルル、セレン、銅、鉄の中から選択される金属を含む有機金属化合物がグリース全量に対して、20重量%以下含まれることを特徴とするグリースを封入した鉄道車両用軸受が知られている(特許文献4)。

[0006] 圧延機用ロールネック軸受は、一般に内輪が1個の複列内輪を備えるとともに、外輪が1個の複列外輪と該複列外輪の両端側に間座を介して配置された2個の単列外輪とを備えており、内輪と外輪との間には4列の転動体が周方向に転動自在に配置され、外輪の両端部には環状シール部材が装着されている。

圧延機用ロールネック軸受は、鉄鋼生産工場の圧延工程で、水を主成分とする圧

延水が噴射される環境下で使用されるため、軸受内部に水が侵入すると潤滑油膜が破断されて潤滑不良による軸受の早期損傷を引き起こすという問題がある。

この問題に対処するために、外輪の両端部には環状シール部材がそのシールリップ部を内輪の外周面に接触させた状態で装着されているとともに、1個の複列内輪の突き合わせ端の内周側には中間シール部材が装着され、中間シール部材にベント機構用のスリットを形成することにより、温度変化によって軸受内部の空気が膨張収縮しても軸受内外の圧力差を自動的にバランスさせて軸受内部に水等が侵入しないようにした例が知られている(特許文献5)。

しかしながら、かかる構成の転がり軸受を圧延機用ロールネック軸受に用いた場合、外輪の軸方向の両端に装着される環状シール部材のシールリップ部は、通常、内輪の外周面に線接触するタイプであるため、リグラインドのために圧延ロールを頻繁に着脱する環境下ではシールリップ部の損傷が著しく、このため、圧延水や冷却水が軸受内部にグリースの20%以上侵入して潤滑剤(通常、アドレックス、アルバニア等のリチウム系増ちょう剤を用いたグリース潤滑剤)に混入し、潤滑機能を低下させて潤滑不良による軸受の早期損傷を引き起こすという問題がある。

[0007] 自動車の車輪支持用転がり軸受ユニットについては、内輪を静止側軌道輪とし、ハブを回転側軌道輪とする構成の第1例および外輪を静止側軌道輪とし、ハブを回転側軌道輪とする構成の第2例が知られている(特許文献6)。

まず、車輪支持用転がり軸受ユニットの従来構造の第1例について図12により説明する。図12は、車輪支持用転がり軸受ユニットの従来構造の第1例を示す断面図である。車輪を構成するホイール1は、図12に示すような車輪支持用転がり軸受ユニット2により、懸架装置を構成する車軸3の端部に回転自在に支持している。即ち、この車軸3の端部に固定したアクスル4に、上記車輪支持用転がり軸受ユニット2を構成する、静止側軌道輪である内輪5、5を外嵌し、ナット6により固定している。一方、上記車輪支持用転がり軸受ユニット2を構成する回転側軌道輪であるハブ7に上記ホイール1を、複数本のスタッド8、8とナット9、9とにより結合固定している。

上記ハブ7の内周面には、それぞれが回転側転送面である複列の外輪転送面10a、10bを、外周面には取付フランジ11を、それぞれ形成している。上記ホイール1は、

制動装置を構成するためのドラム12とともに、上記取付フランジ11の片側面(図示の例では外側面)に、上記各スタッド8、8とナット9、9とにより、結合固定している。

本明細書においては、軸方向に関して「外」とは、車両への組み付け状態で幅方向外側をいい、「内」とは、幅方向中央側をいう。

上記各外輪転送面10a、10bと、上記各内輪5、5の外周面に形成したそれぞれが静止側転送面である各内輪転送面13a、13bとの間には、それぞれが転動体である玉14、14を複数個ずつ、それぞれ保持器15、15により保持した状態で転動自在に設けている。構成各部材をこの様に組み合わせることにより、背面組み合わせである複列アンギュラ型の玉軸受を構成し、上記各内輪5、5の周囲に上記ハブ7を、回転自在に、かつ、ラジアル荷重およびスラスト荷重を支承自在に支持している。なお、上記ハブ7の両端部内周面と、上記各内輪5、5の端部外周面との間には、それぞれシールリング16a、16bを設けて、上記各玉14、14を設けた空間と内部空間17とを遮断している。

さらに、上記ハブ7の外端開口部は、キャップ18により塞がれている。

上述の様な車輪支持用転がり軸受ユニット2の使用時には、図12に示す様に、内輪5、5を外嵌固定したアクスル4を車軸3に固定するとともに、ハブ7の取付フランジ11に、図示しないタイヤを組み合わせたホイール1およびドラム12を固定する。また、このうちのドラム12と、上記車軸3の端部に固定のバックギングプレート19に支持した、図示しないホイールシリンダおよびシューとを組み合わせ、制動用のドラムブレーキを構成する。制動時には、上記ドラム12の内径側に設けた一対のシューをこのドラム12の内周面に押し付ける。なお、上記内部空間17内にはグリースを封入して、上記外輪転送面10a、10bと、内輪転送面13a、13bと、上記各玉14、14の転道面との間の転がり接触部の潤滑を行なうようにしている。

[0008] 次に、車輪支持用転がり軸受ユニットの従来構造の第2例について図13により説明する。図13は、車輪支持用転がり軸受ユニットの従来構造の第2例を示す断面図である。図13に示した車輪支持用転がり軸受ユニット2aの場合には、静止側軌道輪である外輪20の内径側に、回転側軌道輪であるハブ7aを、それぞれが転動体である複数の玉14、14により、回転自在に支持している。このために、上記外輪20の内

周面にそれぞれが静止側転送面である複列の外輪転送面10a、10bを、上記ハブ7aの外周面にそれぞれが回転側転送面である第一、第二の内輪転送面21、22を、それぞれ設けている。このハブ7aは、ハブ本体23と内輪24とを組み合わせる。このうちハブ本体23の外周面の外端部に車輪を支持するための取付けフランジ11aを、同じく中間部に上記第一の内輪転送面21を、同じく中間部内端寄り部分にこの第一の内輪転送面21を形成した部分よりも小径である小径段部25を、それぞれ設けている。そして、この小径段部25に、外周面に断面円弧状である上記第二の内輪転送面22を設けた上記内輪24を外嵌している。さらに、上記ハブ本体23の内端部を径方向外方に塑性変形させてなるかしめ部26により上記内輪24の内端面を抑え付けて、この内輪24を上記ハブ本体23に対し固定している。

また、上記外輪20の両端部内周面と、上記ハブ本体23の中間部外周面および上記内輪24の内端部外周面との間には、それぞれシールリング16c、16dを設けて、上記外輪20の内周面と上記ハブ7aの外周面との間で、上記各玉14、14を設けた内部空間17aと、外部空間とを遮断している。

この内部空間17a内にはグリースを封入して、上記外輪転送面10a、10bと、内輪転送面21、22と、上記各玉14、14の転道面との間の転がり接触部の潤滑を行なうようにしている。

この転がり軸受部の潤滑においては、潤滑グリースの潤滑膜が破断を防止するため、極圧剤(EP剤)含有グリースを使用して、その潤滑油膜の破断を軽減している。

例えば、有機ビスマス化合物を含んでなる転がり軸受用の、極圧グリース潤滑剤組成物が知られている(特許文献2)。また、摩耗低減を目的としたMoDTCおよびポリサルファイドを含有してなるグリースが知られている(特許文献3)。

[0009] 等速ジョイントは、近年の高性能自動車において発生する厳しい作用条件の下では、必ずしも満足なものとはいえない。プランジ型等速ジョイントとして用いられているダブルオフセット型等速ジョイントやクロスグループ型等速ジョイント等、また固定型等速ボールジョイントとして用いられるバーフィールドジョイント等は、いずれも数個のボールでトルクを伝達する構造を持つ。これらの等速ジョイントでは、回転時高面圧下で複雑な転がり滑りの往復運動により、ボールおよびボールと接触する金属表

面に繰り返し応力が加わり、金属疲労によるフレーキング現象が発生しやすい。近年のエンジンの高出力化、また燃費向上のための自動車の軽量化により、ジョイントのサイズも小さくなるため、相対的に高面圧となり、従来のグリースではフレーキング現象を十分に防止することはできない。また、グリースの耐熱性向上も必要になってきている。

従来、このような等速ジョイント用グリースには、潤滑グリースの潤滑膜が破断を防止するため、極圧剤(EP剤)含有グリースを使用して、その潤滑油膜の破断を軽減している。

例えば、ウレア系グリースに有機モリブデン化合物を配合したグリース(特許文献7)、ウレア系グリースに二硫化モリブデン、MoDTCおよび硫黄含有有機スズ化合物を配合したグリース(特許文献8)が知られている。

- [0010] 転がり軸受および等速ジョイントは、高速、高荷重という過酷な使用条件のため、特にころの大端面とつば部で軌道輪つばがすべり運動するため、潤滑グリースの潤滑油膜が破断しやすくなる。潤滑油膜が破断すると金属接触が起こり、発熱、摩擦摩耗が増大する不具合が発生する。

そのため、高速、高荷重下での潤滑性および耐荷重性を向上させ、潤滑油膜破断による金属接触を防止する必要があり、極圧剤含有グリースを使用して、その不具合を軽減している。

また、転がり軸受および等速ジョイントは、内、外輪の転送面と転動体である「ころ」との間にくろがり摩擦が、つば部と「ころ」との間にすべり摩擦が発生する。ころがり摩擦に比べるとすべり摩擦は大きいので、使用条件が過酷になるとつば部の焼付きが生じやすくなる。そのためグリースの交換作業等が頻繁になりメンテナンスフリー化を達成できないという問題がある。

また、転がり軸受および等速ジョイントの使用条件がdN値 10 万以上という高速条件下での潤滑など過酷になるにつれて、従来のグリースでは、フレーキング現象を十分に防止することはできず等速ジョイントの使用が困難になるなどの問題がある。

従来、転動部品および転がり軸受については、グリース封入転がり軸受が高荷重下で使用される場合には、潤滑グリースの潤滑油膜が破断しやすくなる。潤滑油膜

が破断すると金属接触が起こり、発熱、摩擦摩耗が増大する不具合が発生する。そのため、極圧剤含有グリースを使用して、その不具合を軽減している。

[0011] 低摩擦、低摩耗、耐荷重性、耐焼付き性を十分に向上させた摺動部材または転がり部材および転がり軸受を提供することを目的とした有機リン化合物、有機イオウ化合物、有機塩素化合物および有機金属化合物の少なくとも1種と化学反応させて、 $0.05\sim 0.5\ \mu\text{m}$ の厚さのこれらの化合物反応膜層を形成した摺動部材または転がり部材が知られている(特許文献9)。

また、転動部品における境界潤滑条件での摩擦特性を改善し、摩擦特性に個別のバラツキが少なく、軸受寿命を安定して長時間延長できる転動部品を目的として、チオリン酸金属塩被膜を形成してなる転動部品が知られている(特許文献10)。

しかしながら、これらはいずれも摺動面での摩耗の低減効果は十分ではなく、高温かつ高速度の使用条件で、長期耐久性が不足するという問題がある。

また、グリースを封入した転がり軸受においても、転がり軸受の使用条件が過酷になるにつれ、潤滑性および耐荷重性を向上させ、潤滑油膜破断にともなう金属接触を防止する必要がある。特に、ころ軸受はつばを有し、つば部で転動体と軌道輪つばがすべり運動するため、つば部で潤滑油膜の破断が起こりやすくなるという問題がある。

特許文献1:特開昭61-12791号公報

特許文献2:特開平8-41478号公報

特許文献3:特開平10-324885号公報

特許文献4:特開平10-17884号公報

特許文献5:特開2000-104747号公報

特許文献6:特開2001-221243号公報

特許文献7:特開昭63-462991号公報

特許文献8:特開平10-183161号公報

特許文献9:特開平2-256920号公報

特許文献10:特開平11-30236号公報

発明の開示

## 発明が解決しようとする課題

- [0012] 本発明の課題は、高速、高荷重下で転がり滑り運動が生じる状態において、潤滑面での摩擦摩耗を防止し、フレーキングの防止性能、耐熱性能および長期耐久性に優れたグリース、グリース封入転がり軸受、等速ジョイントおよび転動部品を提供することである。

## 課題を解決するための手段

- [0013] 本発明のグリースは、基油に、少なくとも増ちょう剤を配合してなるベースグリースに、ビスマスおよび無機ビスマス化合物(以下、「無機ビスマス化合物」を「無機ビスマス」と略称する。)から選ばれる少なくとも1つの物質を添加したことを特徴とする。

上記ベースグリースおよび上記物質の合計量に対して、上記ビスマスおよび無機ビスマスから選ばれる少なくとも1つの物質が 0.01〜15 重量%添加されることを特徴とする。

上記ビスマスは、ビスマス粉末であることを特徴とする。

上記無機ビスマスは、硫酸ビスマス、三酸化ビスマス、炭酸ビスマスおよびビスマス酸ナトリウムから選ばれる少なくとも1つの無機ビスマスであることを特徴とする。

上記基油は、ポリ- $\alpha$ -オレフィン油、鉱油、エステル油およびエーテル油から選ばれる少なくとも1つの油であることを特徴とする。

上記基油は、40℃における動粘度が 20〜200 mm<sup>2</sup>/s であることを特徴とする。

上記増ちょう剤は、ウレア系化合物およびリチウム石けんから選ばれる少なくとも1つの化合物であることを特徴とする。

- [0014] 本発明の転がり軸受は、内輪および外輪と、この内輪および外輪間に介在する複数の転動体とを備え、この転動体の周囲に上記グリースを封入してなることを特徴とする。

- [0015] 本発明の等速ジョイントは、トラック溝と転動体との係り合いによって回転トルクの伝達が行なわれ、上記転動体が上記トラック溝に沿って転動することによって軸方向移動がなされる等速ジョイントであって、

該等速ジョイントに封入されるグリースであることを特徴とする。

- [0016] また、本発明の転動部品は、表面にビスマスおよび無機ビスマスから選ばれる少な



くとも1つの物質の被膜が形成されてなる転動部品であって、該転動部品は上記グリースに接触して使用されることを特徴とする。

### 発明の効果

- [0017] 本発明のグリース、グリース封入転がり軸受、等速ジョイントおよび転動部品は、耐熱耐久性に優れたビスマスおよび無機ビスマスから選ばれる少なくとも1つの物質を使用しているので、この物質が摺動界面に補給され、ビスマス等被膜を形成してなることによって、極圧性効果を長期間持続することができる。そのため、高速、高荷重下で転がり滑り運動が生じる状態において、潤滑面での摩擦摩耗を防止し、フレーキングの防止性能、耐熱性能および長期耐久性の要求される鉄道車両、建設機械、自動車電装補機などに好適に利用することができる。

### 図面の簡単な説明

- [0018] [図1]ころ軸受の一部切り欠き斜視図である。  
[図2]円すいころ軸受の一部切り欠き斜視図である。  
[図3]深溝玉軸受の断面図である。  
[図4]極圧性評価試験装置を示す図である。  
[図5]車軸用軸受の断面図である。  
[図6]車輪支持装置の断面図である。  
[図7]圧延機ロールネック用軸受の断面図である。  
[図8]車輪支持用転がり軸受ユニットの構造の第1例を示す断面図である。  
[図9]車輪支持用転がり軸受ユニットの構造の第2例を示す断面図である。  
[図10]車輪支持用転がり軸受ユニットの構造の第3例を示す断面図である。  
[図11]車輪支持用転がり軸受ユニットの構造の第4例を示す断面図である。  
[図12]車輪支持用転がり軸受ユニットの従来構造の第1例を示す断面図である。  
[図13]車輪支持用転がり軸受ユニットの従来構造の第2例を示す断面図である。  
[図14]極圧性評価試験結果を示す図である。  
[図15]転がり軸受耐久試験結果を示す図である。  
[図16]ダブルオフセット型等速ジョイントの一部切欠断面図である。  
[図17]トリポート型等速ジョイントの一部切欠断面図である。

[図18]風力発電用主軸支持装置を含む風力発電機全体の模式図である。

[図19]風力発電用主軸支持装置を示す図である。

[図20]風力発電用主軸支持装置における主軸支持用の軸受の設置構造を示す図である。

### 符号の説明

- [0019]
- 1 ホイール
  - 2 車輪支持用転がり軸受ユニット
  - 3 車軸
  - 4 アクスル
  - 5 内輪
  - 6 ナット
  - 7 ハブ
  - 8 スタッド
  - 9 ナット
  - 10 外輪転送面
  - 11 取付フランジ
  - 12 ドラム
  - 13 内輪転送面
  - 14 玉
  - 15 保持器
  - 16 シールリング
  - 17 内部空間
  - 18 キャップ
  - 19 バックリングプレート
  - 20 外輪
  - 21 内輪転送面
  - 22 内輪転送面
  - 23 ハブ本体

- 24 内輪
- 25 小径段部
- 26 かしめ部
- 27 雄ネジ部
- 28 ナット
- 29 スプライン孔
- 31 グリース封入軸受
- 32 内輪
- 33 外輪
- 34 転動体
- 35 保持器
- 36 シール部材
- 37 グリース
- 38 軸方向両端開口部
- 41 回転軸
- 42 リング状試験片
- 43 リング状試験片
- 44 端面
- 51 円すいころ軸受
- 52 内輪
- 53 外輪
- 54 円すいころ
- 55 車軸
- 56 内輪間座
- 57 注入孔
- 61 円すいころ軸受
- 62 ステアリングナックル
- 63 フランジ

- 64 アクスル
- 65 アクスルハブ
- 66 フランジ
- 67 スタッドボルト
- 68 ナット
- 69 ブレーキドラム
- 70 ホイールディスク
- 71 リム
- 72 バックプレート
- 73 グリースキャップ
- 81 円すいころ軸受
- 82 内輪
- 83 内輪の転送面
- 84 外輪
- 85 外輪の転送面
- 86 円すいころ
- 87 保持器
- 88 シール部材
- 89 大つば
- 90 シールケース
- 91 環状溝
- 92 接触形オイルシール
- 101 内輪
- 102 外輪
- 103 トラック溝
- 104 トラック溝
- 105 ボール
- 106 ケージ

- 107 球面
- 108 球面
- 109 シャフト
- 110 ブーツ
- 111 等速ジョイント用グリース
- 112 外輪
- 113 トラック溝
- 114 トリポート部材
- 115 脚軸
- 116 球面ローラ
- 117 ニードル
- 121 風力発電機
- 122 羽根
- 123 主軸
- 124 ナセル
- 125 軸受
- 126 増速機
- 127 発電機
- 128 支持台
- 129 モータ
- 130 減速機
- 131 内輪
- 132 外輪
- 133 転動体
- 134 保持器
- 135 軸受ハウジング
- 136 シール
- 140 旋回座軸受

## 発明を実施するための最良の形態

[0020] 極圧剤含有グリースを封入した軸受を使用することによって、高速、高荷重下で転がり滑り運動が生じる状態において、潤滑性および耐荷重性を向上させる検討を行った結果、グリース全体に対して、添加剤としてビスマスまたは無機ビスマスが 0.01～15 重量%配合されているグリースを用いた転がり軸受、等速ジョイントおよび転動部品は、ビスマスまたは無機ビスマス以外の添加剤を配合したグリースを用いた転がり軸受、等速ジョイントおよび転動部品に比べて、高荷重およびすべり運動下で摩擦が少なく、長期耐久性能が向上することを見出した。また、上記転がり軸受を用いた鉄道車両用転がり軸受、車輪支持装置用転がり軸受、および圧延機ロールネック用転がり軸受等の車輪用転がり軸受において、また車輪支持用転がり軸受ユニットにおいても、同様に高荷重およびすべり運動下で摩擦が少なく、長期耐久性能が向上することを見出した。

これはビスマス、無機ビスマス、またはビスマス等被膜が、他の物質よりも耐熱耐久性に優れ、熱分解しにくいため、極圧性効果を長時間持続することができることによるものと考えられる。本発明はこのような知見に基づくものである。

[0021] 本発明のグリースには、ビスマスまたは無機ビスマスを極圧剤として添加することを必須とする。ビスマスまたは無機ビスマスは、1種類または、2種類を混合してグリースに添加してもよい。また、添加量は、グリース全体に対して、0.01～15 重量%である。好ましくは 1～10 重量%である。添加量が 0.01 重量%未満では、耐摩耗性の向上効果が発揮されず、また、15 重量%をこえると、回転時のトルクが大きくなって、発熱が増大し、回転障害を生じるためである。

本発明のグリースに使用することができるビスマスまたは無機ビスマスとしては、ビスマス(粉末)、炭酸ビスマス、塩化ビスマス、硝酸ビスマスおよびその水和物、硫酸ビスマス、フッ化ビスマス、臭化ビスマス、ヨウ化ビスマス、オキシフッ化ビスマス、オキシ塩化ビスマス、オキシ臭化ビスマス、オキシヨウ化ビスマス、酸化ビスマスおよびその水和物、水酸化ビスマス、セレン化ビスマス、テルル化ビスマス、リン酸ビスマス、オキシ過塩素酸ビスマス、オキシ硫酸ビスマス、ビスマス酸ナトリウム、チタン酸ビスマス、ジルコン酸ビスマス、モリブデン酸ビスマス等が挙げられるが、本発明において、好ま

しいのは、耐熱耐久性に優れ、熱分解しにくい、極圧性効果の高いビスマス粉末、硫酸ビスマスおよび三酸化ビスマスである。特に好ましいのは、ビスマス粉末、三酸化ビスマスまたは、これらの混合物である。

[0022] ビスマスは、水銀を除く全ての金属中最低の熱伝導度を有し、比重 9.8、融点 271.3℃の銀白色の金属である。ビスマス粉末は、比較的軟質の金属であり、極圧を受けると膜状になりやすい。そのため粉末の粒径は、グリース中に分散できる粒径であればよい。本発明の鉄道車両用軸受に封入するグリースに使用するビスマス粉末としては、5〜500  $\mu\text{m}$  であることが好ましい。

[0023] 本発明の転がり軸受、等速ジョイントおよび転動部品に使用するグリースには、ビスマスまたは無機ビスマスを極圧剤として添加することを必須とする。このビスマスまたは無機ビスマスは、1 種類または、2 種類を混合してグリースに添加してもよい。

また、ビスマスまたは無機ビスマスの添加量は、グリース全体に対して、0.01〜15 重量%である。好ましくは 1〜10 重量%である。添加量が 0.01 重量%未満では、耐摩耗性の向上効果が発揮されず、また、15 重量%をこえると、回転時のトルクが大きくなって、発熱が増大し、回転障害を生じるためである。

[0024] 本発明のグリースに使用できる基油としては、例えば、鉱油、PAO油、エステル油、フェニルエーテル油、フッ素油、さらに、フィッシャートロプシュ反応で合成される合成炭化水素油(GTL基油)などが挙げられる。この中でも、PAO油または鉱油から選ばれる少なくとも一種を使用することが好ましい。上記のPAO油としては、通常、 $\alpha$ -オレフィンまたは異性化された $\alpha$ -オレフィンのオリゴマーまたはポリマーの混合物である。 $\alpha$ -オレフィンの具体例としては、1-オクテン、1-ノネン、1-デセン、1-ドデセン、1-トリデセン、1-テトラデセン、1-ペンタデセン、1-ヘキサデセン、1-ヘプタデセン、1-オクタデセン、1-ノナデセン、1-エイコセン、1-ドコセン、1-テトラコセン等を挙げることができ、通常はこれらの混合物が使用される。また、鉱油としては、例えば、パラフィン系鉱油、ナフテン系鉱油等の通常潤滑油やグリースの分野で使用されているものをいずれも使用することができる。

[0025] 本発明の転がり軸受に封入するグリースに使用できる基油は、好ましくは、40℃における動粘度が 20〜200  $\text{mm}^2/\text{s}$  である。20  $\text{mm}^2/\text{s}$  未満の場合は、蒸発量が増加し

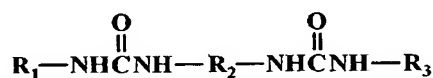
、耐熱性が低下するので好ましくなく、また、 $200 \text{ mm}^2/\text{s}$  をこえると回転トルクの増加による軸受の温度上昇が大きくなるので好ましくない。

本発明の車輪用転がり軸受および車輪支持用転がり軸受ユニットに封入するグリースに使用できる基油は、好ましくは、 $40^\circ\text{C}$ における動粘度が  $30\sim 200 \text{ mm}^2/\text{s}$  である。 $30 \text{ mm}^2/\text{s}$  未満の場合は、蒸発量が増加し、耐熱性が低下するので好ましくなく、また、 $200 \text{ mm}^2/\text{s}$  をこえると回転トルクの増加による軸受の温度上昇が大きくなるので好ましくない。

本発明の等速ジョイントに封入するグリースに使用できる基油は、好ましくは、 $40^\circ\text{C}$ における動粘度が  $30\sim 500 \text{ mm}^2/\text{s}$  である。 $30 \text{ mm}^2/\text{s}$  未満の場合は、蒸発量が増加し、耐熱性が低下するので好ましくなく、また、 $500 \text{ mm}^2/\text{s}$  をこえると回転トルクの増加による軸受の温度上昇が大きくなるので好ましくない。

[0026] 本発明のグリースに使用できる増ちょう剤として、アルミニウム、リチウム、ナトリウム、複合リチウム、複合カルシウム、複合アルミニウムなどの金属石けん系増ちょう剤、下記式(1)のジウレア化合物が挙げられる。好ましくは、ジウレア化合物である。これらの増ちょう剤は、1種類単独で用いても2種類以上組み合わせて用いてもよい。

[化1]



(1)

(式(1)中の $\text{R}_2$ は、炭素数6～15の芳香族炭化水素基、 $\text{R}_1$ および $\text{R}_3$ は、炭素数6～12の芳香族炭化水素基または炭素数6～20の脂環族炭化水素基または炭素数6～20の脂肪族炭化水素基を示し、 $\text{R}_1$ および $\text{R}_3$ は、同一であっても異なってもよい。)

式(1)で表されるウレア系化合物は、例えば、ジイソシアネートとモノアミンの反応で得られる。ジイソシアネートとしては、フェニレンジイソシアネート、ジフェニルジイソシアネート、ジフェニルメタンジイソシアネート、1,5-ナフチレンジイソシアネート、2,4-トリレンジイソシアネート、3,3'-ジメチル-4,4'-ビフェニレンジイソシアネート、オクタデカンジイソシアネート、デカンジイソシアネート、ヘキサンジイソシアネート等が挙



げられ、モノアミンとしては、オクチルアミン、ドデシルアミン、ヘキサデシルアミン、ステアリルアミン、オレイルアミン、アニリン、p-トルイジン、シクロヘキシルアミン等が挙げられる。

ウレア化合物は、イソシアネート化合物とアミン化合物を反応させることにより得られる。反応性のある遊離基を残さないため、イソシアネート化合物のイソシアネート基とアミン化合物のアミノ基とは略当量となるように配合することが好ましい。

基油にウレア化合物を配合して各種配合剤を配合するためのベースグリースが得られる。ベースグリースは、基油中でイソシアネート化合物とアミン化合物とを反応させて作製する。

また、ウレア化合物以外にポリウレア化合物等も使用できる。

[0027] 本発明に使用できる転がり軸受および等速ジョイント用グリースの混和ちょう度は160〜400の範囲が好ましい。160未満では低温時の潤滑性能が悪くなり、400をこえるとグリースが漏れやすくなって好ましくない。

[0028] 本発明において、転がり軸受の内部に潤滑油または、潤滑グリースなどの潤滑剤を塗布または充填する転がり軸受を使用することができる。この潤滑剤は、特に種類を限定するものではなく、通常転がり軸受に用いられている潤滑剤を使用することができる。また、本発明の転がり軸受は、無潤滑剤の状態であっても使用することができる。

[0029] 本発明のグリースには、必要に応じて公知の添加剤を含有させることができる。この添加剤として、例えば、有機亜鉛化合物、アミン系、フェノール系、イオウ系等の酸化防止剤、ベンゾトリアゾール、亜硝酸ソーダなどの金属不活性剤、ポリメタクリレート、ポリスチレン等の粘度指数向上剤、二硫化モリブデン、グラファイト等の固体潤滑剤等が挙げられる。これらを単独または2種類以上組み合わせて添加することができる。

[0030] 本発明に係る等速ジョイントジョイント用グリースにおいて、添加剤の配合割合は、基油および増ちょう剤の合計量100重量部に対して、0.01〜15重量部であることが好ましい。添加剤の配合割合が、0.01重量部未満では、効果が小さい。また15重量部をこえると発熱が大となるので、温度が上昇する。

基油の配合割合は、基油および増ちょう剤の合計量100重量部に対して、50〜95

重量部であることが好ましい。基油の配合割合が、50 重量部未満では、潤滑油が少なく潤滑不良となりやすい。また 95 重量部をこえるとグリースが軟化しやすくなるので、漏れやすくなる。

[0031] 本発明の車輪用転がり軸受、等速ジョイントおよび転動部品に使用できるグリースは、車輪用転がり軸受、等速ジョイントおよび転動部品以外の高負荷がかかる軸受にも使用することができる。

[0032] 本発明のころ軸受用グリースは、グリース封入ころ軸受の寿命を向上させることができる。このため、円筒ころ軸受、円すいころ軸受、自動調心ころ軸受、針状ころ軸受、スラスト円筒ころ軸受、スラスト円すいころ軸受、スラスト針状ころ軸受、スラスト自動調心ころ軸受等の封入グリースとして使用することができる。

[0033] 金属製軸受材の表面に上述のビスマス等被膜を形成するには、例えば、ビスマスまたはビスマス化合物を分散させた液中に転がり軸受を浸漬した後、軸受を回転させ、その際の摩擦熱等によりビスマスまたはビスマス化合物と金属表面とを反応させて、ビスマス等被膜を形成させることができる。金属製軸受材の表面は摩擦等により活性金属表面が生成する。被膜形成を速めるため、加温しながら行なうことが望ましい。

ビスマス等被膜を形成する他の方法としては、真空蒸着、物理蒸着(PVD)、化学蒸着(CVD)、イオンプレーティングなどの乾式めっき、電気めっき、無電解めっき、化成処理等の湿式めっき等が挙げられる。また、ビスマスおよびビスマス化合物から選ばれる少なくとも1つの物質を融点以上に加熱した後、被膜を形成しようとする金属製軸受表面に塗布してビスマス等被膜を形成することもできる。

[0034] 本発明のころ軸受用グリースが封入されるころ軸受について図1により説明する。図1はころ軸受の一部切り欠き斜視図である。ころ軸受は内輪32と外輪33との間ころ34aが保持器35を介して配置されている。ころ34aは内輪32の転走面32aと外輪33の転走面33aとの間ころがり摩擦を受け、内輪32のつば部32bとの間ですべり摩擦を受ける。これらの摩擦を低減するためにころ軸受用グリースが封入されている。

[0035] 鉄道車両用軸受には、車軸用軸受、主電動機用軸受がある。

車軸用軸受に関しては、RCT軸受が使用されている。このRCT軸受においては特

に、ころの大端面と鏝部で軌道輪つばがすべり運動するため、潤滑グリースの潤滑油膜が破断しやすくなる。潤滑油膜が破断すると金属接触が起こり、発熱、摩擦摩耗が増大する不具合が発生する。

また、主電動機用軸受に関しては、円筒ころ軸受、玉軸受が使用されている。円筒ころ軸受においては、上記のように、ころの大端面と鏝部で潤滑グリースの潤滑油膜が破断しやすくなる。また、玉軸受においては、転動体と保持器の間ですべりが生じ、さらに、転動体と軌道輪間で、差動すべりが生じるため、潤滑グリースの潤滑油膜が破断しやすくなる。

[0036] 本発明の鉄道車両用軸受の車軸用軸受について、図5により説明する。図5は車軸用軸受の断面図である。車軸55の両端部は車両台枠(図示せず)に取付けられた円すいころ軸受51により支持され、この円すいころ軸受51は、内輪52と、外輪53と、この内輪52および外輪53間に介在し回転自在に転動する複数の円すいころ54と、隣り合う内輪52の間に介在する内輪間座56と、この円すいころ54にグリースを供給する注入孔57とが配置されている。

また、主電動機用軸受に関しては、電動機回転軸の出力側の両端部が車両台枠に取り付けられた円筒ころ軸受または玉軸受により支持され、この円筒ころ軸受または玉軸受は、内輪と、外輪と、この内輪および外輪間に介在し回転自在に転動する複数の円筒ころまたは玉と、この円筒ころまたは玉にグリースを供給する注入孔とが配置されている。

主電動機の回転出力は、主電動機の出力回転軸から、主電動機の出力回転軸に嵌合された歯車に伝達される。この歯車の回転は、車軸に嵌合された歯車に嚙合伝達され、車軸の回転として伝達される。

[0037] 本発明の転がり軸受が用いられている鉄道車両用軸受のころ軸受について図1により説明する。図1はころ軸受の一部切り欠き斜視図である。ころ軸受は内輪32と外輪33との間にころ34aが保持器35を介して配置されている。ころ34aは内輪32の転走面32aと外輪33の転走面33aとの間どころがり摩擦を受け、内輪32のつば部32bとの間ですべり摩擦を受ける。これらの摩擦を低減するためにころ軸受用グリースが封入されている。

[0038] 本発明の転がり軸受が用いられている車輪支持装置について、図6により説明する。図6は車輪支持装置の断面図である。図6に示すように、ステアリングナックル62にはフランジ63と、アクスル64とが設けられ、そのアクスル64の外径面上に取付けた一対の円すいころ軸受61a、61bによって回転部材としてのアクスルハブ65が回転自在に支持されている。

アクスルハブ65は、外径面にフランジ66を有し、そのフランジ66に設けたスタッドボルト67と、そのスタッドボルト67にねじ係合したナット68によってブレーキ装置のブレーキドラム69、および車輪のホイールディスク70が取付けられている。71はホイールディスク70の外径面に取付けられたリムを示し、そのリム上にタイヤが取付けられる。

[0039] 上記ステアリングナックル62のフランジ63にはボルト、ナットの締付けによってブレーキ装置のバックプレート72が取付けられている。バックプレート72にはブレーキドラム69に制動力を付与する制動機構が支持されるが、図では省略してある。

アクスルハブ65を回転自在に支持する上記一対の円すいころ軸受61a、61bは、アクスルハブ65内に充填されたグリースによって潤滑される。その円すいころ軸受61bから外部にグリースが漏洩したり、外部から泥水が浸入するのを防止するため、アクスルハブ65の外側端面に円すいころ軸受61bを覆うようにしてグリースキャップ73が取付けられている。

[0040] 本発明に係る車輪支持装置に用いられる円すいころ軸受の一例について図2により説明する。図2は円すいころ軸受の一部切り欠き斜視図である。円すいころ軸受31bは内輪32と外輪33との間に円すいころ34bが保持器35を介して配置されている。円すいころ34bは内輪32の転走面32aと外輪33の転走面33aとの間どころがり摩擦を受け、内輪32のつば部32b、32cとの間ですべり摩擦を受ける。これらの摩擦を低減するためにころ軸受用グリースが封入されている。

本発明の転がり軸受が用いられている圧延機ロールネック用軸受について、図7により説明する。図7は圧延機ロールネック用軸受の断面図である。図7に示すように、圧延機のロールネックに装着される密封型の4列円すいころ軸受81は、4列の転送面83a、83b、83c、83dを有する一つの内輪82と、単列の転送面85a、85dを有す

る一対の外輪84a、84bおよび2列の転送面85b、85cを有する一つの外輪84cと、各内輪82の転送面83a、83b、83c、83dと外輪84a、84b、84cの転送面85a、85d、85b、85cとの間に転動自在に配された4列の円すいころ86と、円すいころ86を円周方向で所定間隔に保持する保持器87とを備え、両側の外輪84a、84bの両端部にシール部材88を装着している。各内輪82の中央部には大つば89が設けられ、軸受使用時に円すいころ86は、大つば89に案内されながら各転送面83上を転動する。

円すいころ86は内輪82の転送面83a、83d、83と外輪の転送面85a、85d、85b、85cとの間でころがり摩擦を受け、内輪82のつば部89a、89b、89c、89d、89e、89f、89g、89hとの間ですべり摩擦を受ける。これらの摩擦を低減するためにころ軸受用グリースが封入されている。

また、外輪84a、84bの端部に装着されたシール部材88は、内輪82の外径面にそれぞれ摺接して軸受内部をシールしている。上記シール部材88は、両側の外輪85a、85bの端部に装着されるシールケース90a、90bと、このシールケース90a、90bの内径部に形成した環状溝91に嵌め込まれる接触形オイルシール92とからなる。

[0041] 本発明を実施する場合により好適な車輪支持用転がり軸受ユニットの構造の4例について、以下に説明する。

本発明の転がり軸受が用いられている車輪支持用転がり軸受ユニットとして好適な構造の第1例を、図8に示す。第1例は、従動輪(FRおよびRR車の前輪、FF車の後輪)を支持するための構造であり、前述の図13に示した構造に改良を加えて、ハブ7bの回転トルクをより低減できる構造としたものである。この目的のために第1例の場合には、外輪20の内端開口部をキャップ18aにより塞ぐとともに、この外輪20の外端部内周面とハブ本体23の中間部外周面との間をシールリング16cにより塞いでいる。なお、キャップ18aを設けたので、前述の図6に示した上記外輪20の内端部内周面と内輪4の外周面との間のシールリング16dは、省略することができる。各玉14、14を設置した内部空間17b内への、泥水等の異物侵入防止は、上記シールリング16cと上記キャップ18aとにより防止している。そして、上記内部空間17b内に封入するグリースにはビスマスまたは無機ビスマスがグリース全体に対して、0.01〜15重量%

含まれている。その他の部分の構造は、上記図13に示した従来構造と同様である。本発明の車輪支持用転がり軸受ユニットを、従動輪に適用する場合、外輪の内端部内周面と内輪の外周面との間のシールリングを省略しているので、ハブの回転トルクを従来構造品より低減することができる。

[0042] 次に、本発明に係る車輪支持用転がり軸受ユニットとして好適な構造の第2例を、図9に示す。

第2例も従動輪（FRおよびRR車の前輪、FF車の後輪）を支持するための構造である。第2例の場合にはハブ7cを構成するハブ本体23aの内端部に雄ねじ部27を設け、この雄ねじ部27に螺着したナット28により、上記ハブ本体23aの小径段部25に外嵌した内輪24の内端面を抑え付けている。これに合わせて、外輪20の内端開口部に被着したキャップ18bの形状を膨らませ、上記雄ねじ部27およびナット28の干渉を防止している。その他の構成は上述した第1例の場合と同様である。

[0043] 次に、本発明に係る車輪支持用転がり軸受ユニットとして好適な構造の第3例を、図10に示す。第3例は、駆動輪（FRおよびRR車の後輪、FF車の前輪、4WD車の全輪）を支持するための構造である。

このために第3例の場合には、静止側軌道輪である外輪20の内径側に回転自在に支持した、回転側軌道輪であるハブ7dを構成するハブ本体23bの中心部にスプライン孔29を形成している。車両への組み付け状態でこのスプライン孔29には、等速ジョイントに付属のスプライン軸（図示省略）を挿入する。

また、本発明の車輪支持用転がり軸受ユニットを、駆動輪に適用する場合、回転側軌道輪であるハブを有するハブ本体の中心部にスプライン孔を形成しているので、このスプライン孔に等速ジョイントに付属のスプライン軸を接続することにより、等速ジョイントの回転トルクをハブに確実に伝えることができる。

[0044] また、上記ハブ本体23bの内端部に形成した小径段部25に外嵌した内輪24の内端面を、このハブ本体23bの内端部を径方向外方に塑性変形させてなるかしめ部26により抑え付けて、上記内輪24を上記ハブ本体23bに対し固定し、上記ハブ7dを構成している。そして、上記外輪20の両端部内周面と、上記ハブ本体23bの中間部外周面および上記内輪24の内端部外周面との間に、それぞれシールリング16c、1

6dを設けて、上記外輪20の内周面と上記ハブ7bの外周面との間で各玉14、14を設けた内部空間17bと、外部空間とを遮断している。その他の構成は上述した第1例および第2例の場合と同様である。

[0045] 次に、本発明に係る車輪支持用転がり軸受ユニットとして好適な構造の第4例を、図11に示す。第4例も、駆動輪(FRおよびRR車の後輪、FF車の前輪、4WD車の全輪)を支持するための構造である。

第4例の場合には、ハブ本体23cの内端部に設けた小径段部25に外嵌してこのハブ本体23cとともにハブ7eを構成する内輪24の内端面を、このハブ本体23c内端面よりも内方に突出させている。車両への組み付け状態で上記内輪24の内端面には、図示しない等速ジョイントの外端面が突き当たり、この内輪24が上記小径段部25から抜け落ちることを防止する。その他の構成は上述した第3例の場合と同様である。

[0046] 本発明に係る車輪支持用転がり軸受ユニットである上記構造の4例に対して好適に適用できるグリースを構成するビスマスまたは無機ビスマス、基油、増ちょう剤および添加剤について以下に述べる。

ビスマスまたは無機ビスマスを使用したグリースを封入することのできる車輪支持用転がり軸受ユニットは、本発明に係る車輪支持用転がり軸受ユニットである上記構造の4例に限定されるものではなく、上述の従来構造の2例についても、ビスマスまたは無機ビスマスを使用したグリースを適用することができる。

[0047] 本発明の等速ジョイントは、上記等速ジョイント用グリースを封入したものであり、例えば、プランジング型等速ジョイントには、代表的なものとして、ダブルオフセット型等速ジョイントとトリポート型等速ジョイントがある。ダブルオフセット型等速ジョイントは、図16に示すように、外輪102の内面および球形内輪101の外面に軸方向の六本のトラック溝103、104を等角度に形成し、そのトラック溝103、104間に組み込んだボール105をケージ106で支持し、このケージ106の外周を球面107とし、かつ内周を内輪101の外周に適合する球面108とし、各球面107、108の中心B、Cを外輪102の軸心上において軸方向に位置をずらしてある。

また、外輪102の外周とシャフト109の外周とをブーツ110で覆い、その内部に本発明の等速ジョイント用グリース111が密封充填されている。プランジング型等速ジョ

イントは、上記のように転がりに比べて滑りの要素がきわめて多い。本発明の等速ジョイントは、耐熱耐久性に優れたビスマスまたは無機ビスマスを使用したグリースを封入しているので、ビスマスまたは無機ビスマスが転がり滑り接触部に補給されることによって、極圧性効果を長期間持続することができる。

[0048] 一方、トリポート型等速ジョイントは、図17に示すように、外輪112の内面に軸方向の三本の円筒形トラック溝113を等角度に形成し、外輪112の内側に組み込んだトリポート部材114には三本の脚軸115を設け、各脚軸115の外側に球面ローラ116を嵌合し、その球面ローラ116と脚軸115との間にニードル117を組み込んで球面ローラ116を回転可能に、かつ軸方向にスライド可能に支持し、その球面ローラ116を上記トラック溝113に嵌合してある。

また、外輪112の外周とシャフト109の外周とをブーツ110で覆い、その内部に本発明の等速ジョイント用グリース111が密封充填されている。

[0049] 上記の構成からなるプランジング型等速ジョイントにおいては、トラック溝103、104とボール105の係り合い、およびトラック溝113と球面ローラ116の係り合いによつて回転トルクの伝達が行なわれ、プランジングに対しては、ボール105がトラック溝103に沿って、球面ローラ116がトラック溝113に沿ってそれぞれ転動してこれを吸収する。

[0050] ところで、ジョイントが作動角をとる状態で回転トルクを伝達する場合、ダブルオフセット型等速ジョイントにおいては、トラック溝103、104とボール105との嵌合において転がりと滑りが発生し、また、ケージ106と外輪102およびケージ106と内輪101との間において滑りが発生する。一方、トリポート型等速ジョイントにおいては、トラック溝113と球面ローラ116との間において転がりと滑りが発生する。本発明の等速ジョイントは、耐熱耐久性に優れたビスマスまたは無機ビスマスを使用したグリースを封入しているので、ビスマスまたは無機ビスマスが転がり滑り接触部に補給されることによって、極圧性効果を長期間持続することができる。

[0051] また、本発明のビスマス等被膜が形成された転がり軸受は、その形式を特に限定するものではない。

本発明の転がり軸受の1例を図3に示す。図3はグリースが封入されている深溝玉



軸受の断面図である。

深溝玉軸受31は、外周面に内輪転走面32aを有する内輪32と内周面に外輪転走面33aを有する外輪33とが同心に配置され、内輪転走面32aと外輪転走面33aとの間に複数の転動体34が配置される。

本発明に係るビスマス等被膜は、内輪転走面32a、外輪転走面33aおよび転動体34の表面から選ばれる少なくとも1つの接触表面に形成されている。

また、この複数の転動体34を保持する保持器35および外輪33等に固定されるシール部材36が内輪32および外輪33の軸方向両端開口部38a、38bにそれぞれ設けられている。また、少なくとも転動体34の周囲にグリース37が封入される。

シール部材36は金属製またはゴム成形体単独でよく、あるいはゴム成形体と金属板、プラスチック板、セラミック板等との複合体であってもよい。耐久性、固着の容易さからゴム成形体と金属板との複合体が好ましい。

[0052] 本発明の転がり軸受の他の1例を図2に示す。図2は円すいころ軸受の一部切り欠き斜視図である。円すいころ軸受31bは内輪32と外輪33との間に円すいころ34bが保持器35を介して配置されている。円すいころ34bは内輪32の転走面32aと外輪33の転走面33aとの間どころがり摩擦を受け、内輪32のつば部32b、32cとの間ですべり摩擦を受ける。

本発明に係るビスマス等被膜は、内輪32の転走面32a、外輪33の転走面33aおよび円すいころ34bの表面から選ばれる少なくとも1つの接触表面に形成されている。

また、これらの摩擦を低減するためにころ軸受用グリースが封入されている。

[0053] 本発明の転動部品に使用できる材料は、軸受部品(内・外輪、転動体、保持器等)に採用可能な周知の金属材であり、特に金属材の種類を限定したものではない。具体例としては、軌道輪用材料として、軸受鋼(高炭素クロム軸受鋼 JIS G 4805)、肌焼鋼(JIS G4104等)、高速度鋼(AMS6490)、ステンレス鋼(JIS G 4303)、高周波焼入鋼(JISG4051等)が挙げられ、保持器用材料としては、打ち抜き保持器用鋼板(JIS G 3141等)、もみ抜き保持器用炭素鋼(JIS G 4051等)、もみ抜き保持器用高力黄銅铸件(JIS H 5102等)が挙げられる。また、鉋金、鉛やスズを配合したホワイトメタルその他の軸受合金を採用することもできる。

本発明に使用できる転動部品は、転動部品の接触表面に、ビスマス等被膜が形成されていればよく、該被膜の形成方法には特に限定されない。

[0054] 本発明の風力発電用主軸支持装置を図18および図19より説明する。図18は風力発電用主軸支持装置を含む風力発電機全体の模式図であり、図19は図18の風力発電用主軸支持装置を示す図である。図18または図19に示すように、風力発電機121は、風車となる羽根122が取り付けられた主軸123を、ナセル124内の軸受ハウジング135に設置された軸受125により回転自在に支持し、さらにナセル124内に増速機126および発電機127を設置したものである。増速機126は、主軸123の回転を増速して発電機127の入力軸に伝達するものである。ナセル124は、支持台128上に旋回座軸受140を介して旋回自在に設置され、図19の旋回用のモータ129の駆動により、減速機130を介して旋回させられる。ナセル124の旋回は、風向きに羽根122の方向を対向させるために行なわれる。主軸支持用の軸受125は、図19の例では2個設けているが、1個であってもよい。

主軸支持用の軸受125の設置構造を図20により説明する。図20は、本発明の風力発電用主軸支持装置における主軸支持用の軸受125の設置構造を示す図である。軸受125は、一对の軌道輪となる内輪131および外輪132と、これら内外輪131、132間に介在した複数の転動体133とを有する。軸受125は、スラスト負荷が可能なラジアル軸受であればよく、自動調心ころ軸受の他に、アンギュラ玉軸受や、円すいころ軸受、深溝玉軸受等であってもよい。これらの中で、軽荷重から突風時の重荷重まで幅広い荷重域で、かつ風向の変化が絶えず生じる状態で運転される風力発電用主軸支持軸受としては、運転に伴う主軸の撓みを吸収できる自動調心ころ軸受が好ましい。また、複列のころ軸受にかかる負荷容量が各列毎に異なっても対応できる複列の自動調心ころ軸受に、無機ビスマス含有のグリースを封入した本発明の複列自動調心ころ軸受は、ラジアル荷重に比べて大きなスラスト荷重がかかり、かつブレードから遠い方の軸受部分が近い方の列の軸受部分よりも、大きな負荷容量となる風力発電用主軸支持軸受として耐摩耗性ととも、長期間耐久性に優れ、好適に使用できる。

軸受125の外輪132は軌道面132aが球面状とされ、各転動体133は外周面が外

輪軌道面132aに沿う球面状のころとされている。内輪131は各列の軌道面131a、131aを個別に有するつば付きの構造とされている。転動体133は、各列毎に保持器134で保持されている。

外輪132は軸受ハウジング135の内径面に嵌合して設置され、内輪131は主軸123の外周に嵌合して主軸123を支持している。軸受ハウジング135は、軸受125の両端を覆う側壁部135aと主軸123との間にラビリンスシール等のシール136が構成されている。軸受ハウジング135で密封性が得られるため、軸受125にはシールなしの構造が用いられている。軸受125は、本発明の実施形態にかかる風力発電用主軸軸受となるものである。

## 実施例

### [0055] 実施例1ー実施例11

反応容器中で、基油中に増ちょう剤を加え、3本ロールミルを用いて均一化处理して、表1に示すLi石けん／鉱油系グリース(40℃基油粘度 100 mm<sup>2</sup>/s、混和ちょう度 220)、ウレア／PAO油系グリース(40℃基油粘度 46 mm<sup>2</sup>/s、混和ちょう度 280)、Li石けん／エステル油系グリース(40℃基油粘度 33 mm<sup>2</sup>/s、混和ちょう度 250)、ウレア／エーテル油系グリース(40℃基油粘度 100 mm<sup>2</sup>/s、混和ちょう度 300)を得た。

さらに、極圧剤としてビスマスまたは無機ビスマスを、表1に示す割合で上記グリースに添加して、各実施例のグリースを作製した。得られたグリースにつき、以下に記す極圧性評価試験およびころ軸受試験を行なった。結果を表1に併記した。

### [0056] 比較例1ー比較例8

反応容器中で、基油中に増ちょう剤を加え、3本ロールミルを用いて均一化处理して、表2に示すLi石けん／鉱油系グリース(40℃基油粘度 100 mm<sup>2</sup>/s、混和ちょう度 220)、ウレア／PAO油系グリース(40℃基油粘度 46 mm<sup>2</sup>/s、混和ちょう度 280)、Li石けん／エステル油系グリース(40℃基油粘度 30 mm<sup>2</sup>/s、混和ちょう度 250)、ウレア／エーテル油系グリース(40℃基油粘度 100 mm<sup>2</sup>/s、混和ちょう度 300)を得た。

さらに、極圧剤として、有機ビスマス、MoDTCまたは亜鉛粉末を、表2に示す割合

で上記グリースに添加して、各比較例のグリースを作製した。

[0057] 得られたグリースにつき、実施例1ー実施例11と同様にして極圧性評価試験およびころ軸受試験を行なった。結果を表2に併記した。

極圧性評価試験：

極圧性評価試験装置を図4に示す。評価試験装置は、回転軸41に固定されたφ40×10のリング状試験片42と、この試験片42と端面44にて端面同士が擦り合わされるリング状試験片43とで構成される。ころ軸受用グリースを端面44部分に塗布し、回転軸41を回転数 2000 rpm、図4中右方向Aのアキシャル荷重 490 N、ラジアル荷重 392 N を負荷して、極圧性を評価した。極圧性は両試験片のすべり部の摩擦摩耗増大により生じる回転軸41の振動を振動センサにて測定し、その振動値が初期値の2倍になるまで試験を行ない、その時間を測定した。

回転軸41の振動値が初期値の2倍になるまでの時間が長いほど極圧性効果が大となり、優れた耐熱耐久性を示す。したがってグリースの耐熱耐久性の評価は、測定された上記時間の長さにて各実施例と各比較例とを対比させて行なった。

ころ軸受試験：

30206円すいころ軸受にグリースを 3.6 g 封入し、アキシャル荷重 980 N、回転数 2600 rpm、室温にて運転し、回転中のつば部表面温度を測定した。運転開始後、4ー8 時間までのつば部表面温度の平均値を算出した。

つば部と「ころ」との間に発生するすべり摩擦が大きくなると回転中のつば部表面温度は上昇する。そのためグリースの耐熱耐久性の評価は、測定された上記温度の高さにて各実施例と各比較例とを対比させて行なった。上記温度の高さが 70℃以下であることが、グリースの耐熱耐久性を有する基準とした。

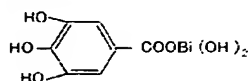
[0058] [表1]

グリース		実施例										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ベース グリース (重量%)	Li石けん・鉱油系グリース	95	95	-	-	99	85	-	-	95	95	95
	ウレア・PAO系グリース	-	-	95	95	-	-	-	-	-	-	-
	Li石けん・エステル油系グリース	-	-	-	-	-	-	95	-	-	-	-
	ウレア・エーテル系グリース	-	-	-	-	-	-	-	95	-	-	-
極圧剤 (重量%)	硫酸ビスマス	5	-	5	-	-	-	5	-	-	-	-
	三酸化ビスマス	-	5	-	5	1	15	-	5	-	-	-
	ビスマス粉末	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5
	有機ビスマス化合物 <sup>1)</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	炭酸ビスマス	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-
	ビスマス酸ナトリウム	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-
	MoDTC <sup>2)</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	亜鉛粉末	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
極圧性評価試験, h		92	140	170	230	86	190	76	88	53	54	300
ころ軸受試験, °C		66	64	58	56	68	67	50	70	68	68	55

[0059] [表2]

グリース		比較例							
		1	2	3	4	5	6	7	8
ベース グリース (重量%)	Li石けん・鉱油系グリース	100	-	-	-	95	95	-	95
	ウレア・PAO系グリース	-	100	-	-	-	-	95	-
	Li石けん・エステル油系グリース	-	-	100	-	-	-	-	-
	ウレア・エーテル系グリース	-	-	-	100	-	-	-	-
極圧剤 (重量%)	硫酸ビスマス	-	-	-	-	-	-	-	-
	三酸化ビスマス	-	-	-	-	-	-	-	-
	ビスマス粉末	-	-	-	-	-	-	-	-
	有機ビスマス化合物 <sup>1)</sup>	-	-	-	-	5	-	5	-
	炭酸ビスマス	-	-	-	-	-	-	-	-
	ビスマス酸ナトリウム	-	-	-	-	-	-	-	-
	MoDTC <sup>2)</sup>	-	-	-	-	-	5	-	-
	亜鉛粉末	-	-	-	-	-	-	-	5
極圧性評価試験, h		16	39	6	14	54	16	62	20
ころ軸受試験, °C		85	74	48	72	82	90	73	84

1) 次没食子酸ビスマス



2) Molyvan A (バンダービルド社製) モリブデンジチオカーバメート

[0060] 表1および表2においてLi石けん／鉱油系グリースのデータを、各実施例と各比較例とを対比すると、極圧剤の種類では、有機ビスマスよりもビスマスまたは無機ビスマスが、極圧性評価試験およびころ軸受試験において優れた耐熱耐久性を示した。

実施例11および比較例5に示すように、特にビスマス粉末は、有機ビスマスに比して約6倍の耐熱耐久性を示すことがわかる。また、実施例2および比較例5において、三酸化ビスマスは、有機ビスマスに比して約3倍の耐熱耐久性を示すことがわかる。これらのことからビスマスまたは無機ビスマスが有機ビスマスよりも耐熱耐久性に優

れ、熱分解しにくいため、極圧性効果を長時間持続することができることによるものと考えられる。

また、硫酸ビスマス、三酸化ビスマスおよびビスマス粉末の中では、ビスマス粉末が最も良好な耐熱耐久性を示した。

[0061] 三酸化ビスマスの添加量が 実施例5の 1 重量%、実施例2の 5 重量%、実施例6の 15 重量%と増加するにつれて極圧性効果が増加する傾向を示すが、三酸化ビスマスの添加量を 15 重量%と添加量 5 重量%の 3 倍に増加させても、極圧性効果の増加は約 1.4 倍に留まる。これは三酸化ビスマスの添加量が 15 重量%に近づくと、回転時のトルクが大きくなって、発熱が増大し、回転障害を生じる傾向にあるためと考えられる。

[0062] また、比較例8に示すように、亜鉛粉末を添加した場合には、耐熱耐久性が著しく悪化し、無機化合物ではあっても亜鉛粉末には極圧性効果が認められなかった。これは亜鉛の融点が低く、グリースの耐熱性を向上させることができなかったためと考えられる。

[0063] 表1および表2においてウレア/PAO油系グリース、Li石けん/エステル油系グリース、ウレア/エーテル油系グリースのデータを、各実施例と各比較例とを対比すると、ウレア/PAO油系グリースの場合、極圧剤の種類では、有機ビスマスよりも硫酸ビスマスおよび三酸化ビスマスといった無機ビスマスが優れた耐熱耐久性を示す。実施例3、実施例4および比較例7に示すように、硫酸ビスマスは有機ビスマスに比して約 3 倍の耐熱耐久性を示し、三酸化ビスマスは有機ビスマスに比して約 4 倍の耐熱耐久性を示すことがわかる。これは無機ビスマスが有機ビスマスよりも耐熱耐久性に優れ、熱分解しにくいため、極圧性効果を長時間持続することができることによるものと考えられる。

[0064] また、実施例7および比較例3に示すように、Li石けん/エステル油系グリースの場合、硫酸ビスマスを極圧剤として用いると極圧剤を使用しない場合に比して約 13 倍の耐熱耐久性を示した。

また、実施例8および比較例4に示すように、ウレア/エーテル油系グリースの場合、三酸化ビスマスを極圧剤として用いると極圧剤を使用しない場合に比して約 6 倍の

耐熱耐久性を示した。以上のことから、硫酸ビスマスおよび三酸化ビスマスといった無機ビスマスが極圧性効果を長時間持続することがわかる。

[0065] 実施例12

三酸化ビスマス(和光純薬(株)製) 5 g をPAO油(シンフルード801、新日鉄化学(株)製)95 g の割合で加えた液中に鋼板(SUJ2厚さ 10 mm )とφ 40 mm×厚さ 10 mm のリング状試験片(SUJ2)を浸漬し、鋼板にリング状試験片の端面を490 N の荷重で押し付けた状態で、リング状試験片を 2000 rpm の回転数で 20 時間回転させた。その際の摩擦熱等により、リング状試験片の端面に三酸化ビスマスの被膜を形成させた。三酸化ビスマスの被膜がリング状試験片の端面に形成されたことは光電子分光(以下、XPSと略す)による表面分析により確認された。

このリング状試験片を2個使用して、下記に示す極圧性評価試験を実施した。結果を図14に示す。

[0066] 実施例13

ビスマス(和光純薬(株)製) 5 g をPAO油(シンフルード801、新日鉄化学(株)製)95 g の割合で加えた液中に鋼板(SUJ2厚さ 10 mm )とφ 40 mm×厚さ10 mm のリング状試験片(SUJ2)を浸漬し、鋼板にリング状試験片の端面を490 N の荷重で押し付けた状態で、リング状試験片を 2000 rpm の回転数で 20 時間回転させた。その際の摩擦熱等により、リング状試験片の端面にビスマスの被膜を形成させた。ビスマスの被膜がリング状試験片の端面に形成されたことはXPSによる表面分析により確認された。

このリング状試験片を2個作成して、下記に示す極圧性評価試験を実施した。結果を図14に示す。

[0067] 比較例9

ビスマスおよびビスマス化合物の被膜が形成されていないリング状試験片を3個使用して、下記に示す極圧性評価試験を実施した。結果を図14に示す。なお、リング状試験片の材質、形状は実施例12と同一である。

[0068] 実施例14

三酸化ビスマス(和光純薬(株)) 5 g をPAO油(シンフルード801、新日鉄化学製)

95 g の割合で加えた液中で30204円すいころ軸受をアキシアル荷重 980 N、回転数 2600 rpm で、8 時間回転させ30204円すいころ軸受の転がり表面に三酸化ビスマスの被膜を形成させた。この軸受を2個使用して、洗浄し、下記に示す転がり軸受耐久試験を実施した。結果を図15に示す。

[0069] 実施例15

ビスマス(和光純薬(株)) 5 g をPAO油(シンフルード801、新日鉄化学製)95 g の割合で加えた液中で30204円すいころ軸受をアキシアル荷重 980 N、回転数 2600 rpm で、8 時間回転させ30204円すいころ軸受の転がり表面にビスマスの被膜を形成させた。この軸受を2個使用して、洗浄し、下記に示す転がり軸受耐久試験を実施した。結果を図15に示す。

[0070] 比較例10

ビスマスおよびビスマス化合物の被膜が形成されていない30204円すいころ軸受を2個使用して、下記に示す転がり軸受耐久試験を実施した。結果を図15に示す。

転がり軸受耐久試験:

30204円すいころ軸受にLi石けん/鉱油系グリース(エクソンモービル社製アラペンRB300)を 1.8 g 封入し、アキシアル荷重 67 N、ラジアル荷重 67 N を負荷して、120℃の雰囲気中、5000 rpm で回転させた。この軸受の回転トルクが上昇し、初期の回転トルクの2倍以上になるまでの時間(寿命時間)を計測した。転がり軸受の耐久性の評価は、測定された上記時間の長さにて実施例14および実施例15と比較例10とを対比させて行なった。

[0071] 極圧性評価試験を示した図14において、ビスマス等被膜が形成されていない比較例9で平均 28 時間の寿命に比べて、三酸化ビスマスの被膜を形成させた実施例12は平均で 165 時間の寿命であり 5.9 倍の極圧効果を示した。また同様に比較例9に比べて、ビスマスの被膜を形成させた実施例13は、試験片2個ともに 200 時間をこえても振動値が初期の 2 倍に達せず極圧性評価試験を打ち切ったため、少なくとも平均で 7.1 倍を大幅に上回る極圧効果を示した。

これらのことから、ビスマス等被膜が形成されることにより、すべり部の金属接触が防止され、極圧効果を発揮するものと考えられる。また、このビスマス等被膜の中で、三



酸化ビスマスの被膜よりもビスマスの被膜の方が、長期耐久性に優れるため、極圧効果が大きくなるものと考えられる。

転がり軸受耐久試験結果を示した図15において、ビスマスおよびビスマス化合物の被膜が形成されていない比較例10で平均 179 時間の寿命に比べて、三酸化ビスマスの被膜が形成された実施例14は平均で 345 時間の寿命であり 3.9 倍の耐久性を示した。また同様に比較例10に比べて、ビスマスの被膜が形成された実施例15は、平均で 500 時間の寿命であり 5.6 倍の耐久性を示した。

これらのことから、ビスマス等被膜が形成されることにより、ころ軸受のつば部での金属接触が防止され、耐久性を発揮するものと考えられる。また、このビスマス等被膜の中で、三酸化ビスマスの被膜よりもビスマスの被膜の方が、ころ軸受のつば部での金属接触を防止する被膜が安定して持続するため、優れた長期耐久性を示すものと考えられる。

#### 産業上の利用可能性

- [0072] 本発明のグリース、転がり軸受、等速ジョイントおよび転動部品は、耐熱耐久性に優れた無機ビスマスを使用しているので、極圧性効果を長期間持続することができる。そのため、耐摩耗性ととも、長期間耐久性の要求される航空機、鉄道車両、建設機械、自動車電装補機、自動車ハブ、風力発電機などに好適に利用できる。

## 請求の範囲

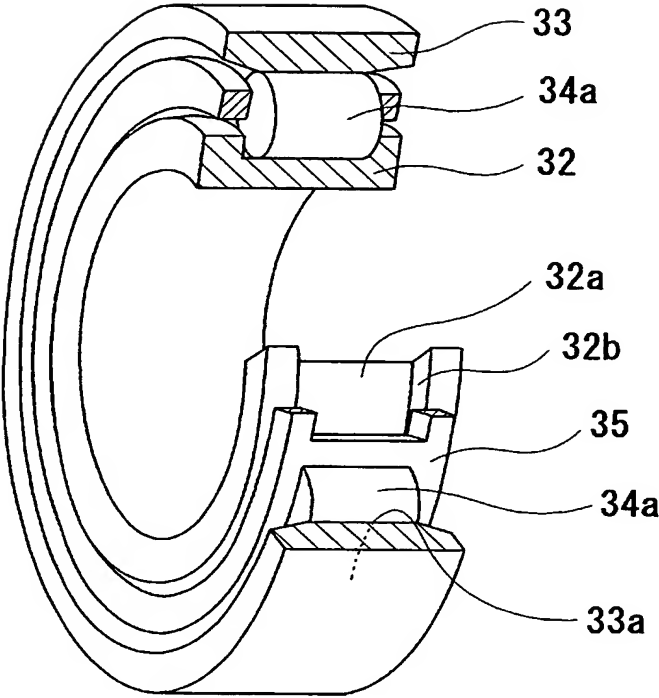
- [1] 基油に、少なくとも増ちょう剤を配合してなるベースグリースに、ビスマスおよび無機ビスマス化合物から選ばれる少なくとも1つの物質を添加したことを特徴とするグリース。
- [2] 前記ベースグリースおよび前記物質の合計量に対して、前記ビスマスおよび無機ビスマス化合物から選ばれる少なくとも1つの物質が 0.01～15 重量%添加されることを特徴とする請求項1記載のグリース。
- [3] 前記ビスマスは、ビスマス粉末であることを特徴とする請求項1記載のグリース。
- [4] 前記無機ビスマス化合物は、硫酸ビスマス、三酸化ビスマス、炭酸ビスマスおよびビスマス酸ナトリウムから選ばれる少なくとも1つの無機ビスマス化合物であることを特徴とする請求項1記載のグリース。
- [5] 前記基油は、ポリ- $\alpha$ -オレフィン油、鉱油、エステル油およびエーテル油から選ばれる少なくとも1つの油であることを特徴とする請求項1記載のグリース。
- [6] 前記基油は、40℃における動粘度が 20～200 mm<sup>2</sup>/s であることを特徴とする請求項5記載のグリース。
- [7] 前記増ちょう剤は、ウレア系化合物およびリチウム石けんから選ばれる少なくとも1つの化合物であることを特徴とする請求項1記載のグリース。
- [8] 内輪および外輪と、この内輪および外輪間に介在する複数の転動体とを備え、この転動体の周囲にグリースを封入してなる転がり軸受であって、前記グリースは請求項1記載のグリースであることを特徴とする転がり軸受。
- [9] 前記転がり軸受が、ころ軸受であることを特徴とする請求項8記載の転がり軸受。
- [10] 前記転がり軸受は、スラスト摺動面を有する転がり軸受であることを特徴とする請求項8記載の転がり軸受。
- [11] 前記転がり軸受は、車輪用転がり軸受であることを特徴とする請求項8記載の転がり軸受。
- [12] 前記車輪用転がり軸受は、つばのある転がり軸受を用いた鉄道車両用転がり軸受であって、鉄道の車軸用転がり軸受または主電動機用転がり軸受として用いられることを特徴とする請求項11記載の転がり軸受。

- [13] 前記車輪用転がり軸受は、スラスト摺動面を有する車輪支持装置用転がり軸受であって、アクスルの外径面上に取付けられたグリース封入転がり軸受によって車輪とともに回転する回転部材を回転自在に支持する車輪支持装置に用いられることを特徴とする請求項11記載の転がり軸受。
- [14] 前記車輪用転がり軸受は、スラスト摺動面を有する圧延機ロールネック用転がり軸受であって、内輪が1個の複列内輪を備えるとともに、外輪が1個の複列外輪と該複列外輪の両端側に間座を介して配置された2個の単列外輪とを備えており、内輪と外輪との間には4列の転動体が周方向に転動自在に配置され、外輪の両端部には環状シール部材が装着されてなることを特徴とする請求項11記載の転がり軸受。
- [15] 前記転がり軸受は、外周面に転走面を有する金属製内輪と、内周面に転走面を有する金属製外輪とが、同心に配置され、前記両転走面間に介在する複数の金属製転動体とを備えた転がり軸受であって、前記両転走面および転動体表面から選ばれる少なくとも1つの接触表面に、ビスマスおよび無機ビスマス化合物から選ばれる少なくとも1つの物質の被膜が形成されてなることを特徴とする請求項8記載の転がり軸受。
- [16] 前記無機ビスマス化合物がビスマス酸化物であることを特徴とする請求項15記載の転がり軸受。
- [17] 前記転がり軸受は、車輪支持用転がり軸受ユニットに用いられる転がり軸受であって、前記車輪支持用転がり軸受ユニットは、使用状態で懸架装置に支持固定される静止側軌道輪と、使用状態で車輪を支持固定する回転側軌道輪と、前記静止側軌道輪と前記回転側軌道輪との互いに対向する周面に存在する静止側転送面と回転側転送面との間に設けられた複数の転動体とを備え、前記各転送面と前記各転動体との転がり接触部をグリースにより潤滑する車輪支持用転がり軸受ユニットであることを特徴とする請求項8記載の転がり軸受。
- [18] トラック溝と転動体との係り合いによって回転トルクの伝達が行なわれ、前記転動体が前記トラック溝に沿って転動することによって軸方向移動がなされる等速ジョイントであって、  
該等速ジョイントに封入されるグリースは、請求項1項記載のグリースであることを特

徴とする等速ジョイント。

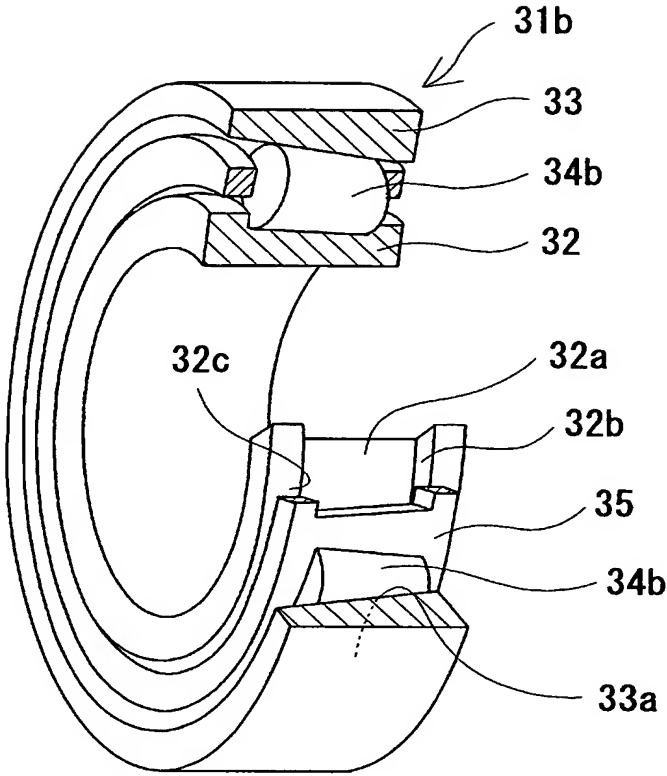
- [19] 前記グリースの基油は、40 °Cにおける動粘度が  $30\sim 500\text{ mm}^2/\text{s}$  であることを特徴とする請求項18項記載の等速ジョイント。
- [20] 表面にビスマスおよび無機ビスマス化合物から選ばれる少なくとも1つの物質の被膜が形成されてなる転動部品であって、請求項1記載のグリースに接触して使用されることを特徴とする転動部品。
- [21] 前記無機ビスマス化合物がビスマス酸化物であることを特徴とする請求項20記載の転動部品。
- [22] 前記転がり軸受は、ブレードが取り付けられた主軸が、軸受ハウジングに設置された少なくとも1個の転がり軸受により支持された風力発電用主軸支持装置に用いられる転がり軸受であることを特徴とする請求項8記載の転がり軸受。

[図1]



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

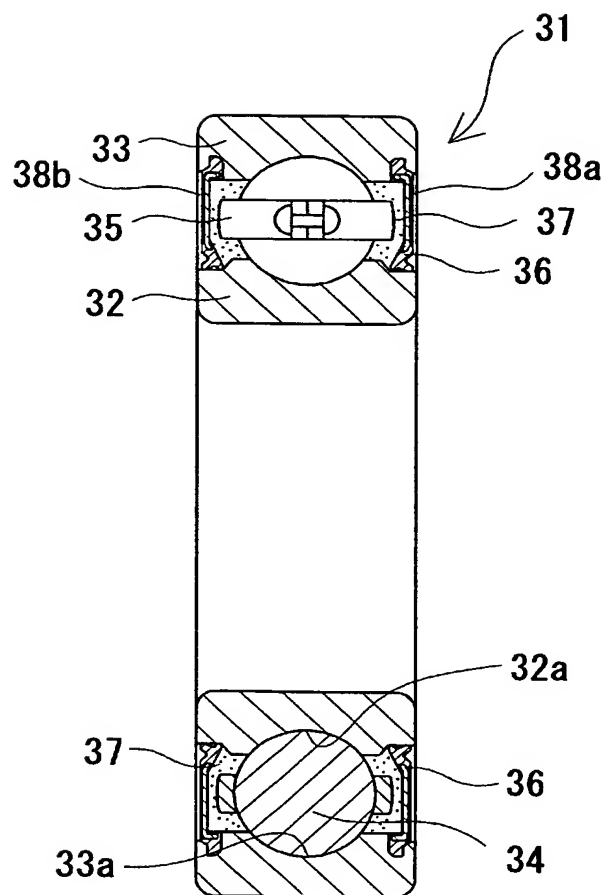
[図2]



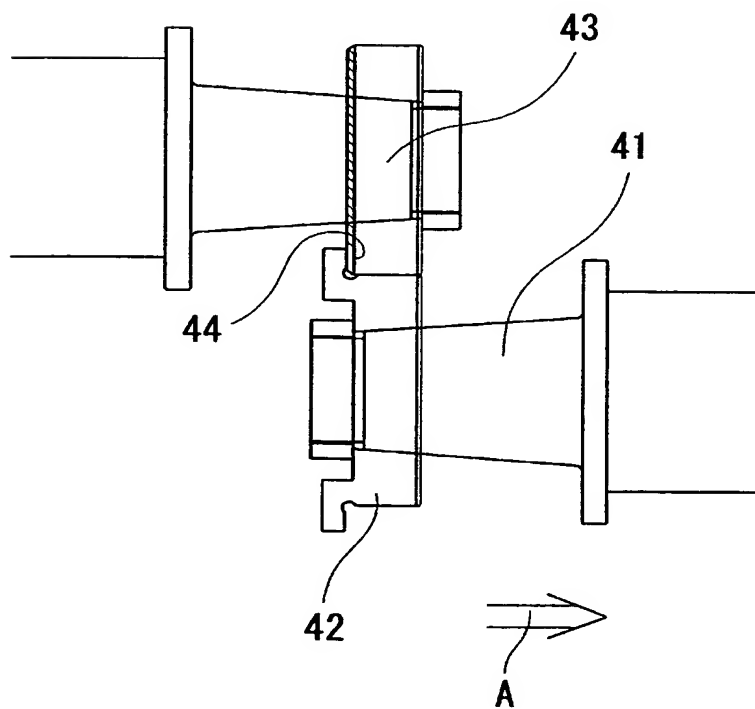
**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



[図3]

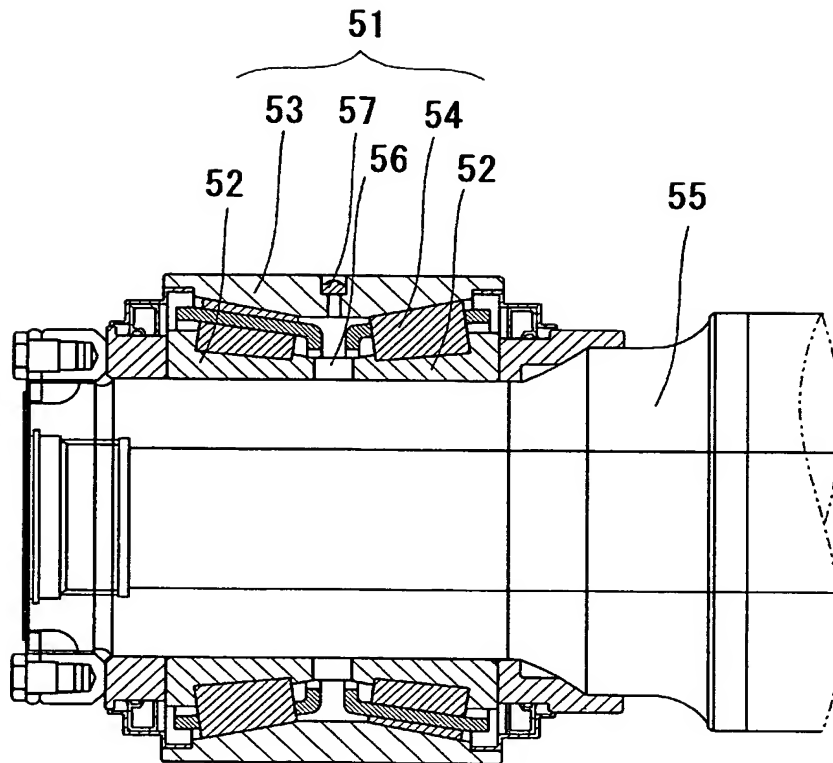


[図4]



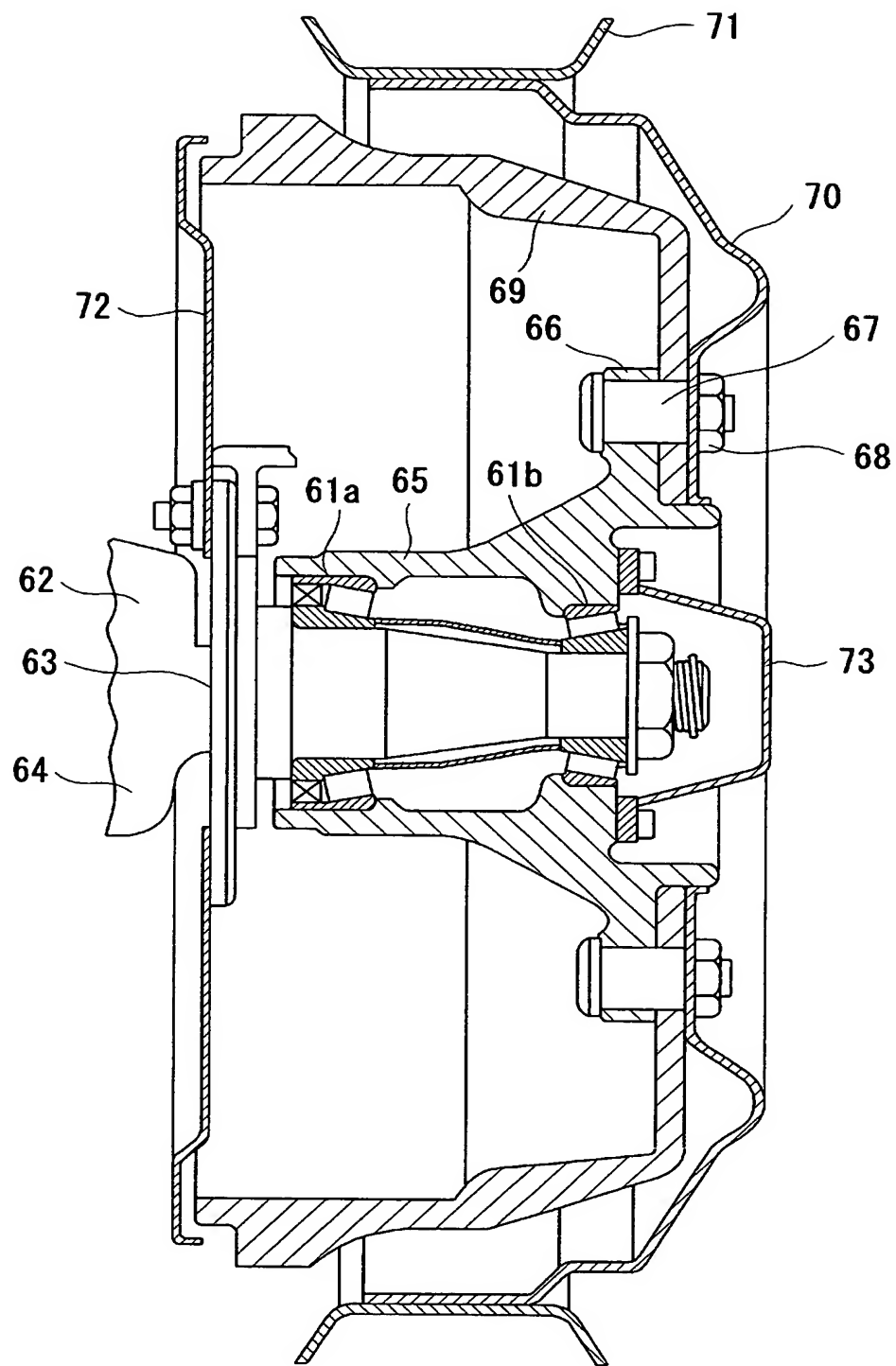
**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

[図5]



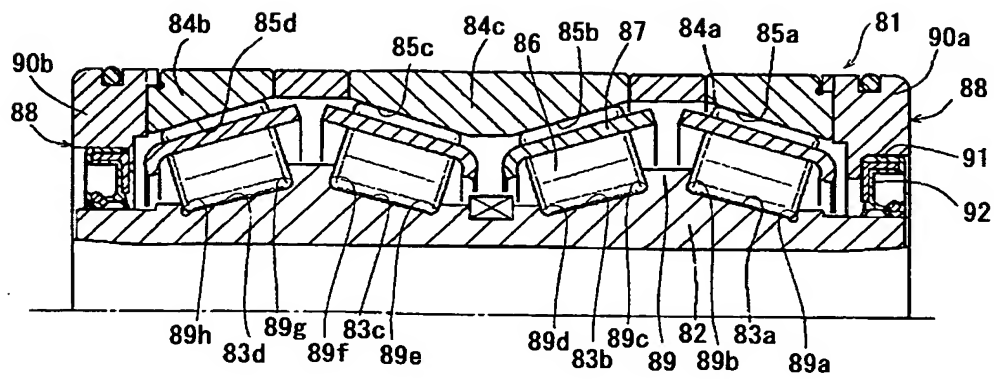
**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

[図6]

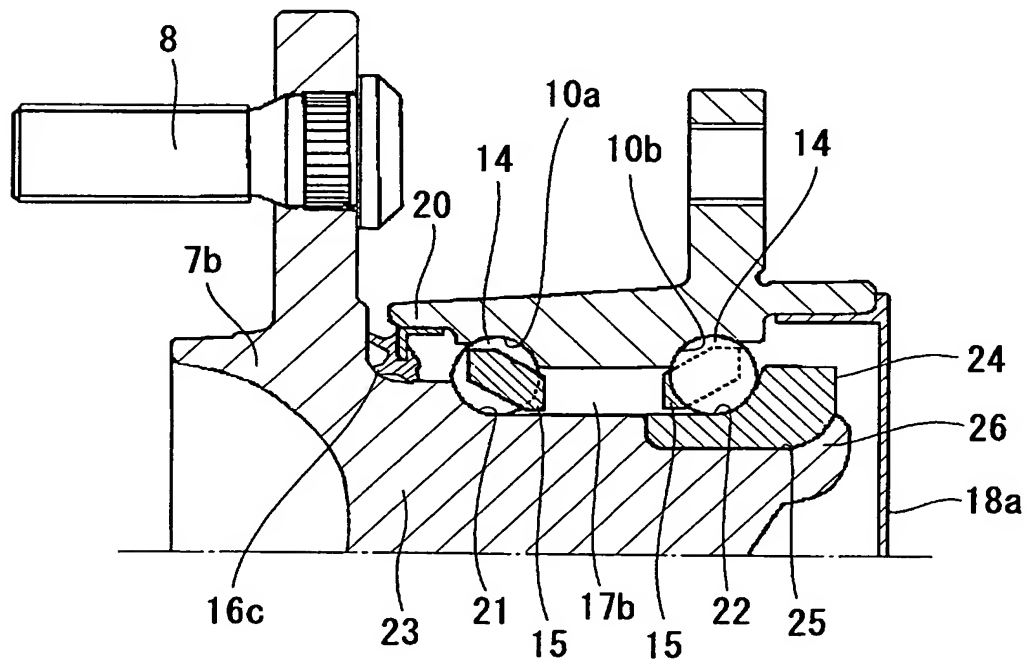


**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

[[図7]]



[[図8]]



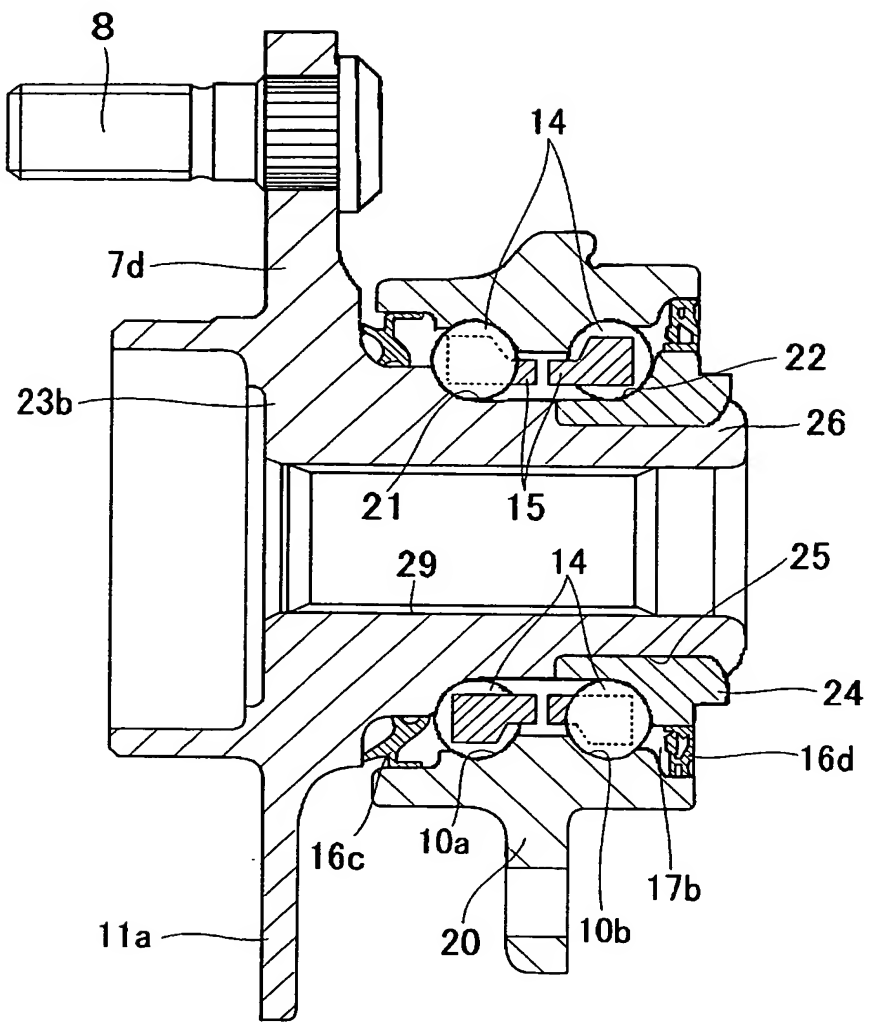
**THIS PAGE BLANK (USPTO)**





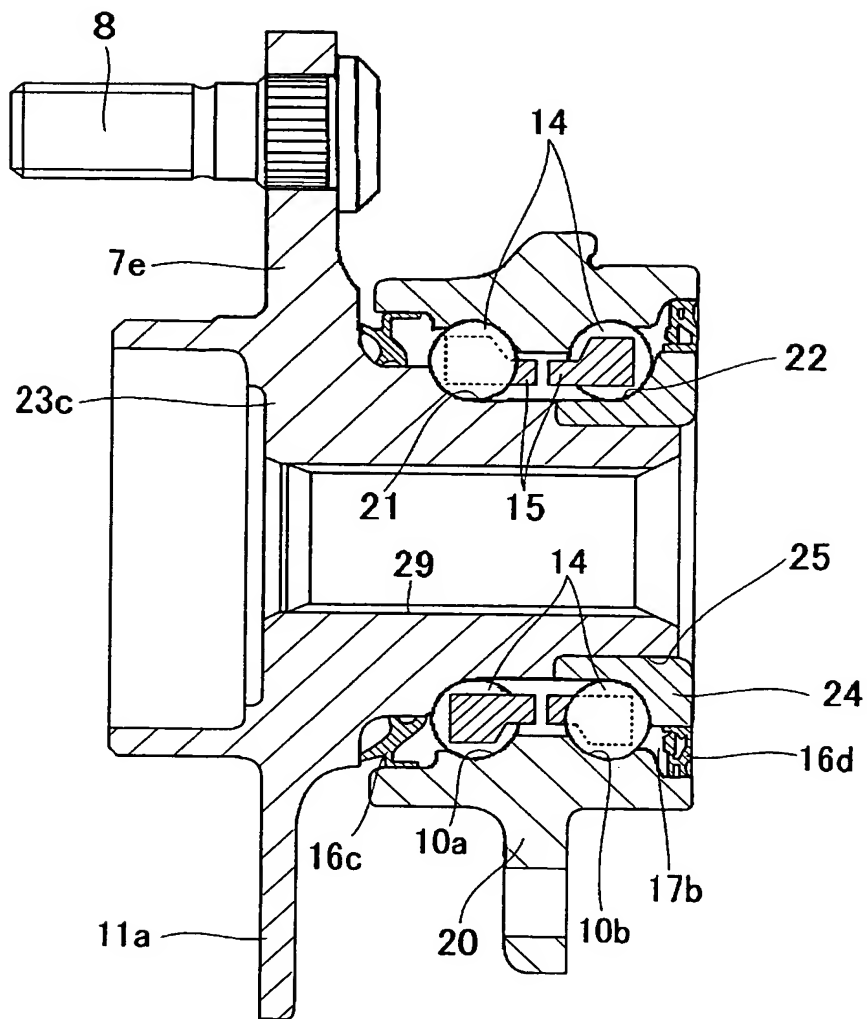
**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

[図10]



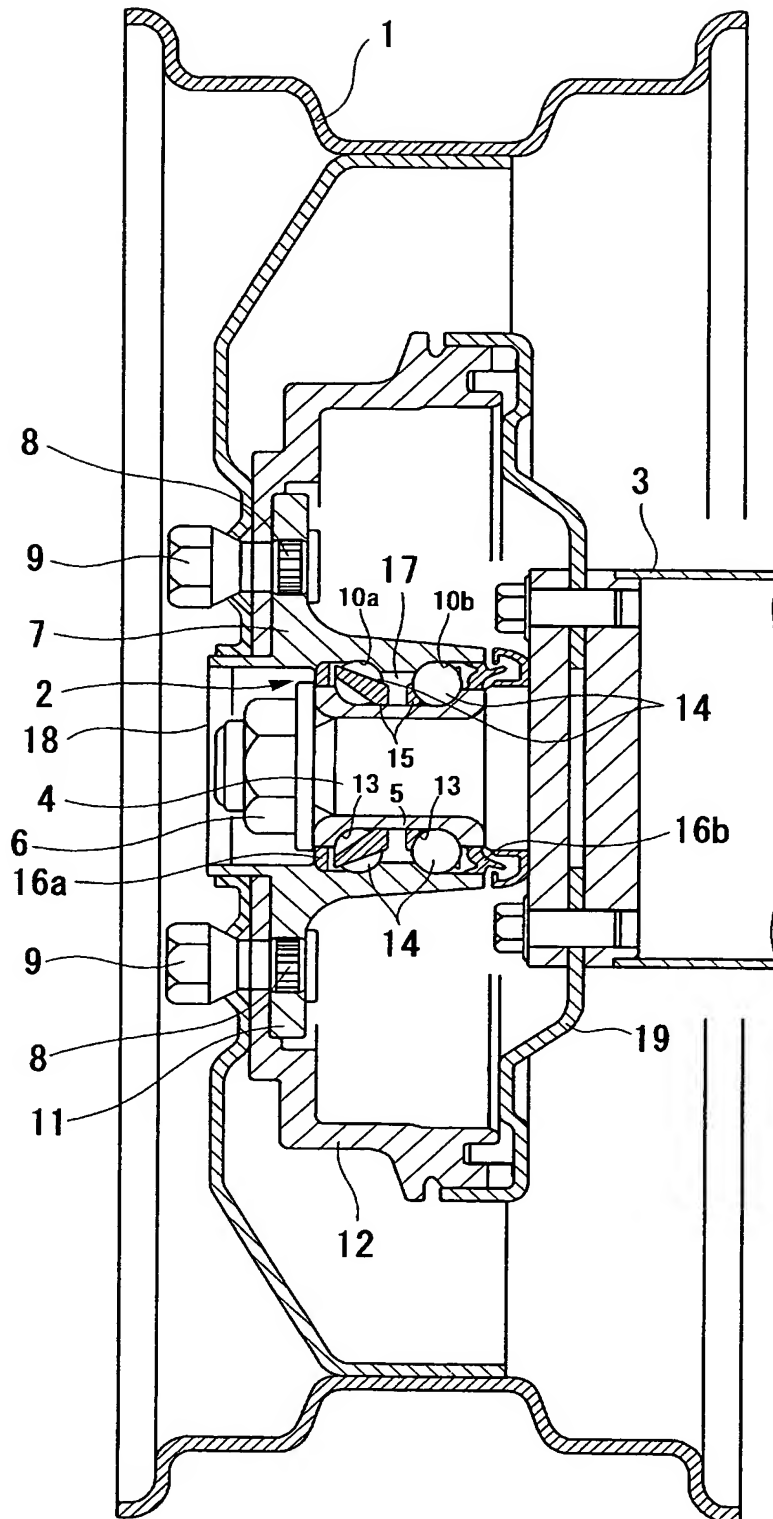
**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

[図11]



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

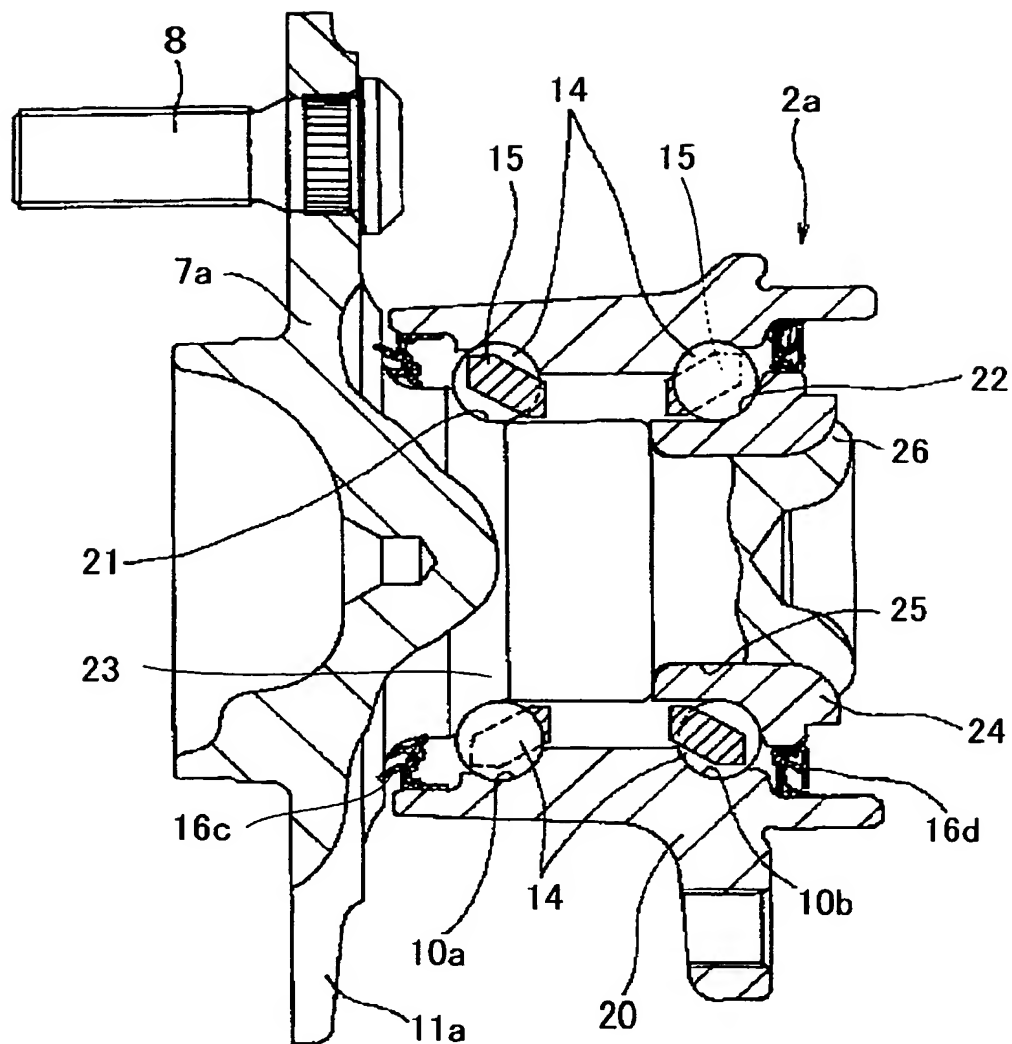
[図12]



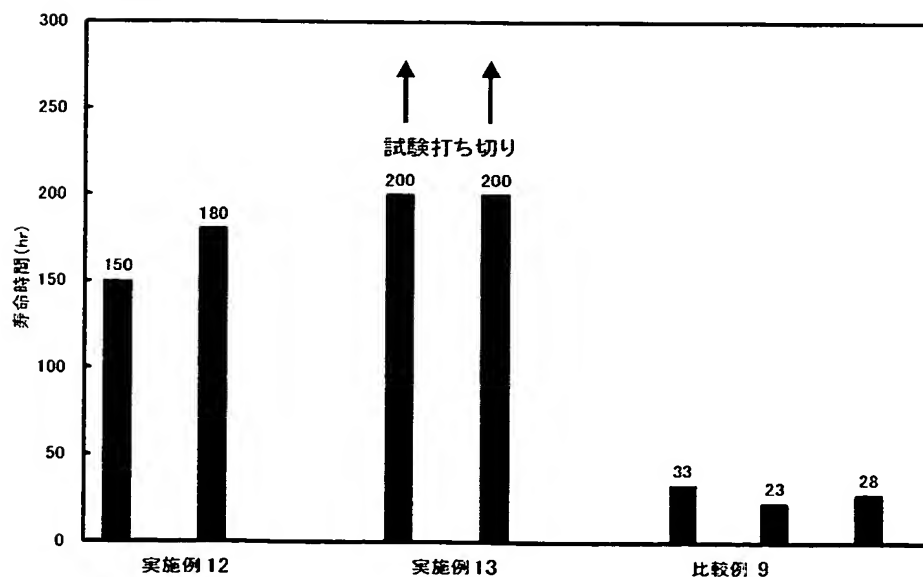
**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



[図13]

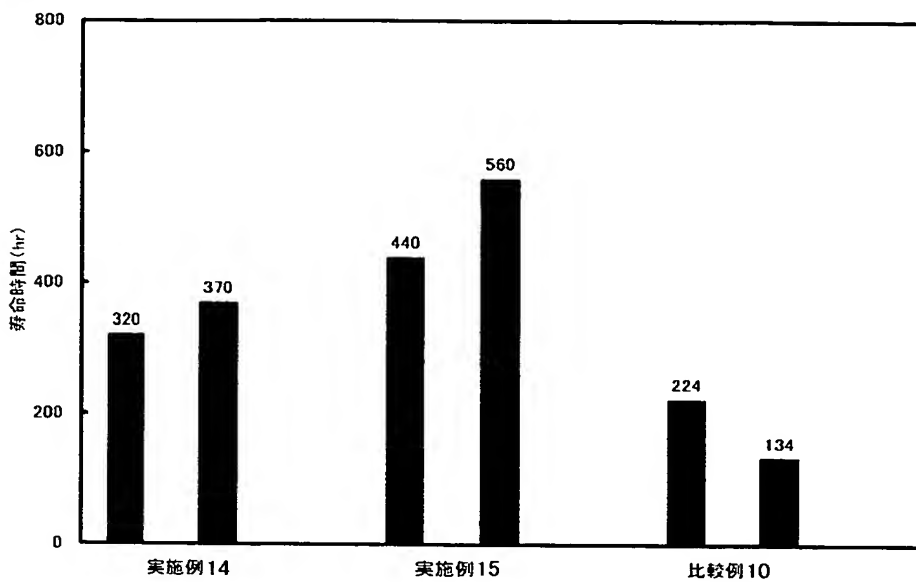


[図14]

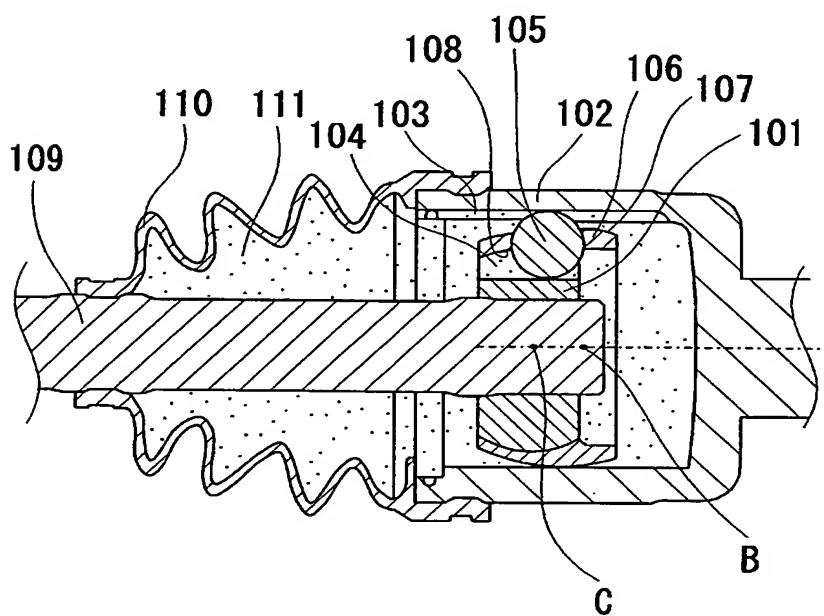


**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

[図15]

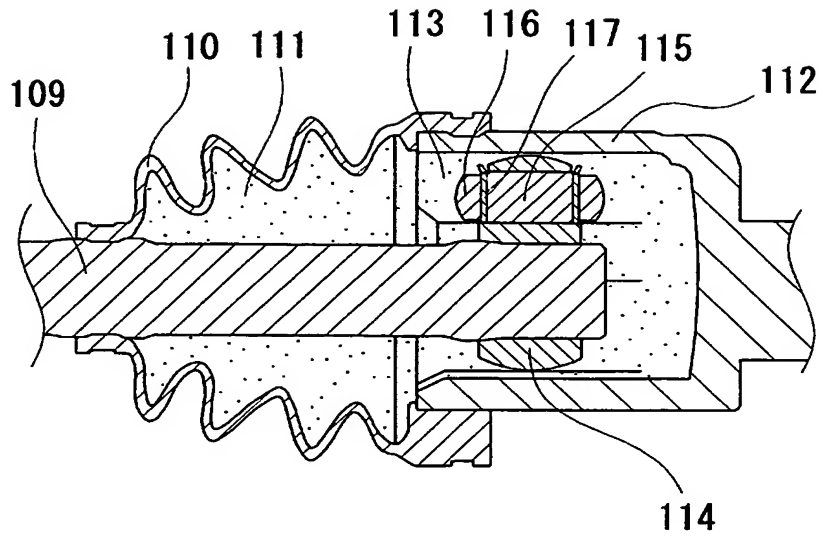


[図16]

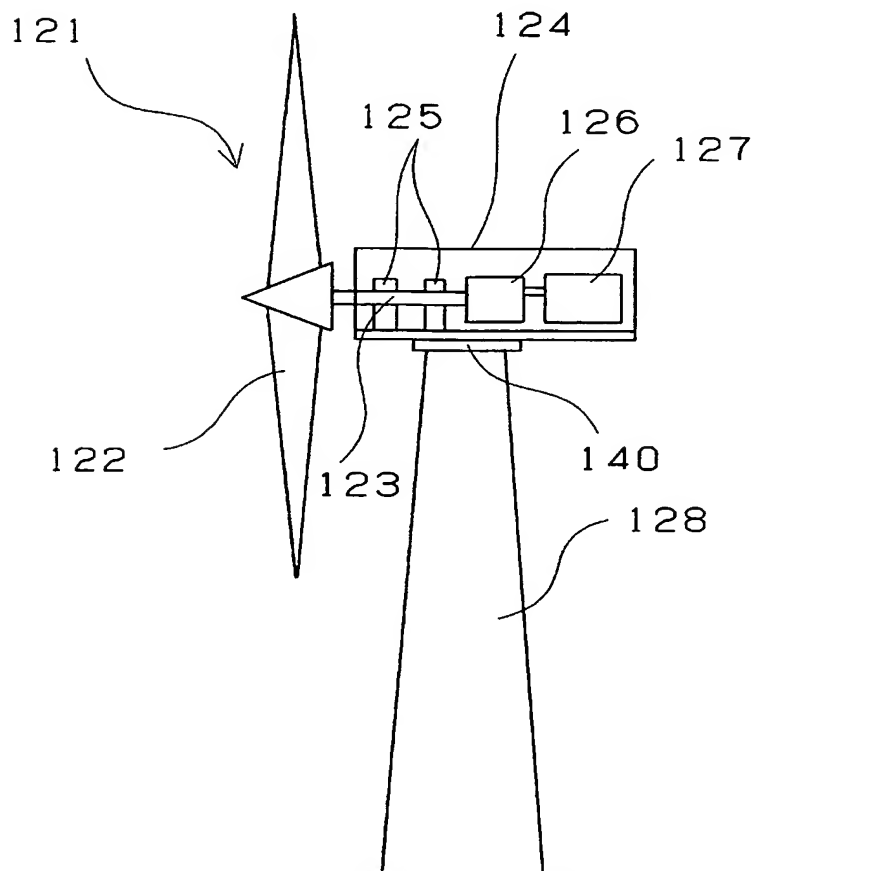


**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

[図17]

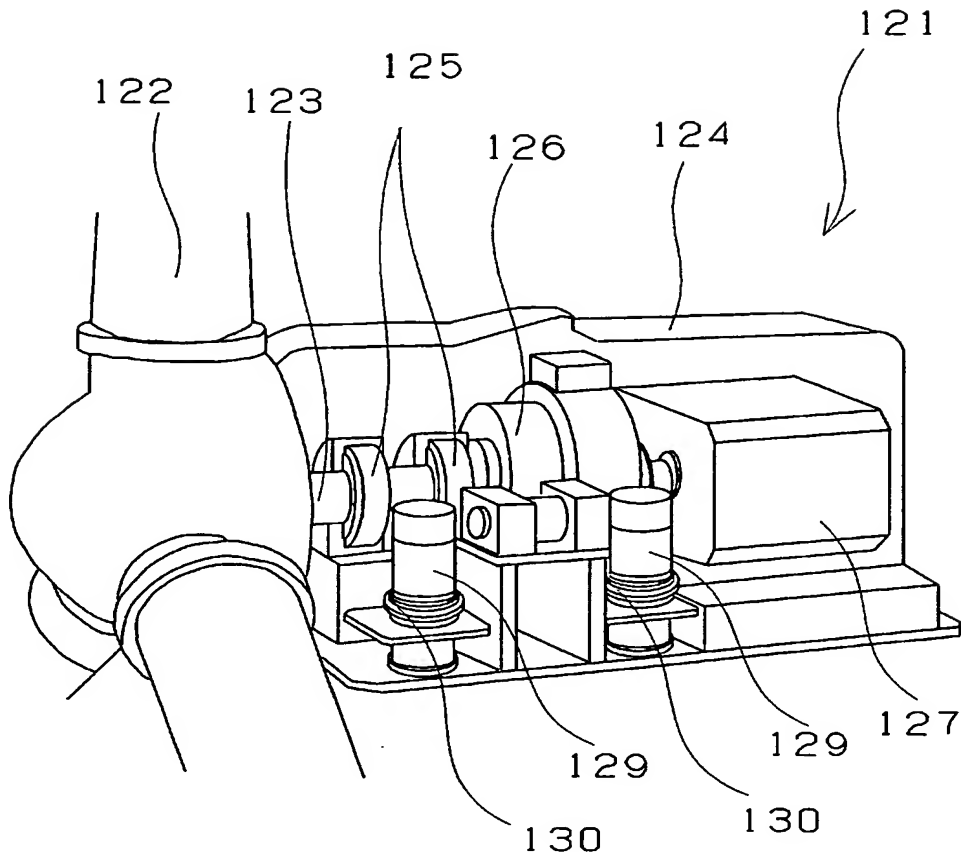


[図18]



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

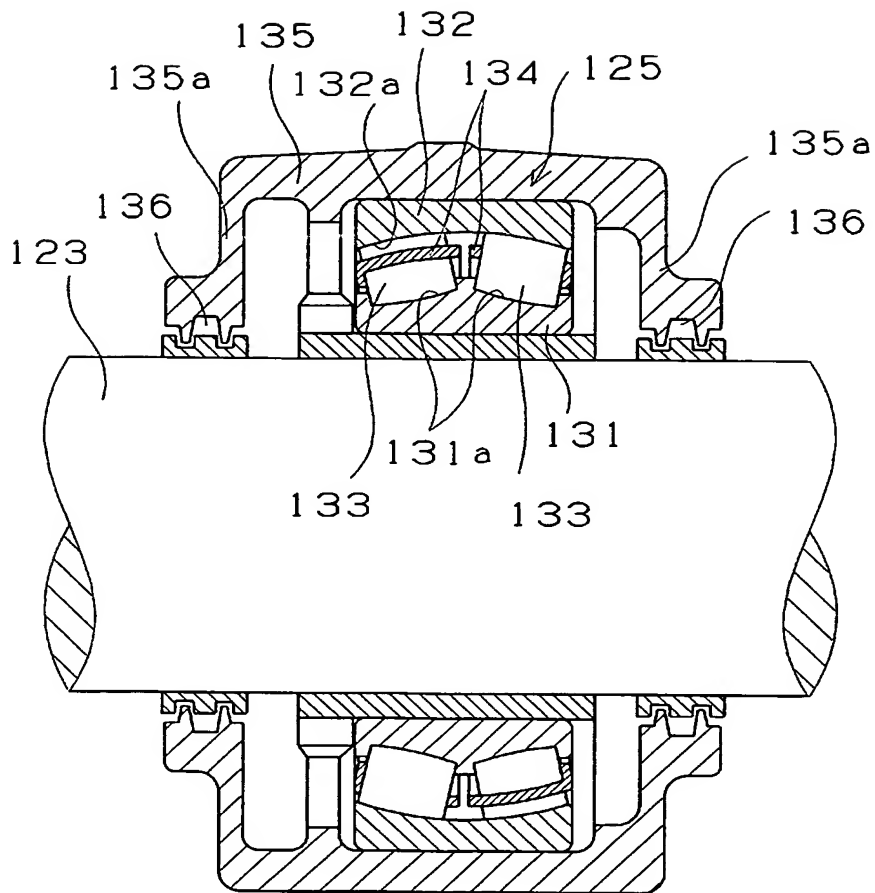
[図19]



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



[図20]



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**